



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

VÍCEPDLAŽNÍ BUDOVA

MULTI-STOREY BUILDING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

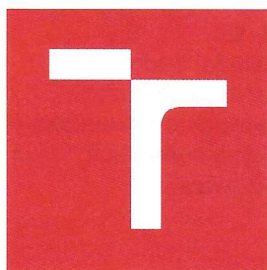
Bc. Alžběta Cmajdálková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. KAREL SÝKORA

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav kovových a dřevěných konstrukcí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Alžběta Cmajdálková
Název	Vícepodlažní budova
Vedoucí práce	Ing. Karel Sýkora
Datum zadání	31. 3. 2017
Datum odevzdání	12. 1. 2018

V Brně dne 31. 3. 2017

prof. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.
Vedoucí ústavu



prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

1. Prostorové uspořádání vícepodlažní budovy.
2. ČSN 73141, Navrhování ocelových konstrukcí.
3. Literatura podle doporučení vedoucího bakalářské práce.
4. Odborné publikace v časopisech a sbornících, které se vztahují k řešené problematice, podle doporučení vedoucího bakalářské práce.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Vypracujte návrh nosné ocelové konstrukce osmipodlažní budovy. V příčném směru řešte budovu jako trojtrakt $6,0+3,0+6,0 = 15\text{m}$. V podélném směru $9 \times 6,0 \text{ m} = 54 \text{ m}$.

Budova je umístěna mezi dvěma železobetonovými věžemi $9,0 \times 9,0 \text{ m}$ pro vertikální dopravu.

Konstrukci navrhnete pro oblast Brno.

Konstrukci navrhnete v několika variantách, vybranou variantu podrobně rozpracujete.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



Ing. Karel Sýkora
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Předmětem této diplomové práce je statický návrh a posouzení nosné ocelové konstrukce vícepodlažní budovy. Konstrukce je navržena pro oblast Brno. Přesněji se jedná o osmipodlažní budovu s půdorysnými rozměry 54 x 15 m a celkovou výškou 30,2 m. Ocelová konstrukce je umístěna mezi dvě železobetonové věže sloužící pro vertikální dopravu. Konstrukce je navržena ve třech variantách. V jedné variantě se jedná o ocelový skelet s kloubově připojenými prvky. Strop je navrženy jako spřažená konstrukce.

KLÍČOVÁ SLOVA

Ocelová konstrukce, kloubové přípoje, stropnice, vaznice, průvlak, vazník, sloup, spřažená betonová deska, trapézový plech, statický návrh, statický model

ABSTRACT

The subject of the master's thesis is static design and assessment of the static load-bearing steel structure. The structure is designed for the site Brno. Specifically this is an eight-storey office building with a 54 x 12 m floor plan and a total height is 30,2 m. The steel structure is located between two reinforced concrete towers secure for vertical transport. The structure is designed in three variants. In the one of them a steel frame with hinge attached elements. The ceiling structure is designed as composite steel and concrete structure.

KEYWORDS

Steel construction, articulated joints, joist, beam, girder truss, column, composite concrete slab, trapeze plate, structural design, static model

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

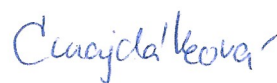
Bc. Alžběta Cmajdálková *Vícepodlažní budova*. Brno, 2018. 143 s., 39 s. příl.

Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Karel Sýkora

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 12. 01. 2018



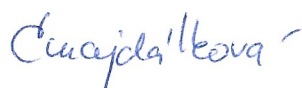
Bc. Alžběta Cmajdálková
autor práce

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 12. 01. 2018




Bc. Alžběta Cmajdálková
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Mnohokrát děkuji panu Ing. Karlu Sýkorovi za vedení mé diplomové práce, za jeho cenné rady a připomínky. Dále děkuji svým blízkým za jejich podporu, popohánění k psaní práce a skvělou motivaci.

V Brně dne 12. 01. 2018



Bc. Alžběta Cmajdálková
autor práce

POPISNÝ SOUBOR ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Vedoucí práce Ing. Karel Sýkora
Autor práce Bc. Alžběta Cmajdálková

Škola Vysoké učení technické v Brně
Fakulta Stavební
Ústav Ústav kovových a dřevěných konstrukcí
Studijní obor 3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Studijní program N3607 Stavební inženýrství

Název práce Vícepodlažní budova

Název práce Multi-storey building
v anglickém
jazyce

Typ práce Diplomová práce

Přidělovaný titul Ing.

Jazyk práce Čeština

Datový formát PDF
elektronické
verze

Abstrakt práce Předmětem této diplomové práce je statický návrh a posouzení nosné ocelové konstrukce vícepodlažní budovy. Konstrukce je navržena pro oblast Brno. Přesněji se jedná o osmipodlažní budovu s půdorysnými rozměry 54 x 15 m a celkovou výškou 30,2 m. Ocelová konstrukce je umístěna mezi dvě železobetonové věže sloužící pro vertikální dopravu. Konstrukce je navržena ve třech variantách. V jedné variantě se jedná o ocelový skelet s kloubově připojenými prvky. Strop je navrženy jako spřažená konstrukce

Abstrakt práce v anglickém jazyce The subject of the master's thesis is static design and assessment of the static load-bearing steel structure. The structure is designed for the site Brno. Specifically this is an eight-storey office building with a 54 x 12 m floor plan and a total height is 30,2 m. The steel structure is located between two reinforced concrete towers secure for vertical transport. The structure is designed in three variants. In the one of them a steel frame with hinge attached elements. The ceiling structure is designed as composite steel and concrete structure.

Klíčová slova	Ocelová konstrukce, kloubové přípoje, stropnice, vaznice, průvlak, vazník, sloup, spřažená betonová deska, trapézový plech, statický návrh, statický model
Klíčová slova v anglickém jazyce	Steel construction, articulated joints, joist, beam, girderm truss, column, composite concrete slab, trapeze plate, structural design, static model

SEZNAM PŘÍLOH:

A Textová část

- 1 Srovnání variant
- 2 Technická zpráva
- 3 Statický výpočet

B Výkresová část

- 01 Půdorys stropní konstrukce
- 02 Podélný řez A-A'
- 03 Příčný řez B-B'
- 04 Pohled JZ a SZ
- 05 Pohled JV a SV
- 06 Výrobní výkres stropnic
- 07 Výrobní výkres průvlaků
- 08 Vybrané detaily

C Přílohy

- 1 Výstup z programu SCIA Engineer
- 2 Prospekty vybraných materiálů

VYPRACOVAL: Bc. Alžběta CMAJDÁLKOVÁ	 FAKULTA STAVEBNÍ VUT BRNO
VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. Karel SÝKORA	
NÁZEV DIPLOMOVÉ PRÁCE: VÍCEPODLAŽNÍ BUDOVA	DATUM: 01/2018
NÁZEV: TEXTOVÁ ČÁST	ČÁST: A

SROVNÁNÍ VARIANT

COMPARISON VARIANTS

OBSAH

1	Varianty řešení.....	3
1.1	Ze statického hlediska	3
1.1.1	Varianta 1.....	3
1.1.2	Varianta 2.....	4
1.1.3	Varianta 3.....	5
1.2	Z konstrukčního hlediska.....	5
1.2.1	Varianta A.....	5
1.2.2	Varianta B.....	6
2	Porovnání variant	7
2.1	Hospodárnost konstrukce	7
2.1.1	Varianta 1 – Kloubově uložená	7
2.1.2	Varianta 2 – Příčný rám.....	8
2.1.3	Varianta 3 – Prostorový rám	8
2.1.4	Řešení stropní konstrukce.....	9
2.1.5	Řešení sloupů	9
2.2	Deformace budovy	10
3	Vyhodnocení.....	10

1 VARIANTY ŘEŠENÍ

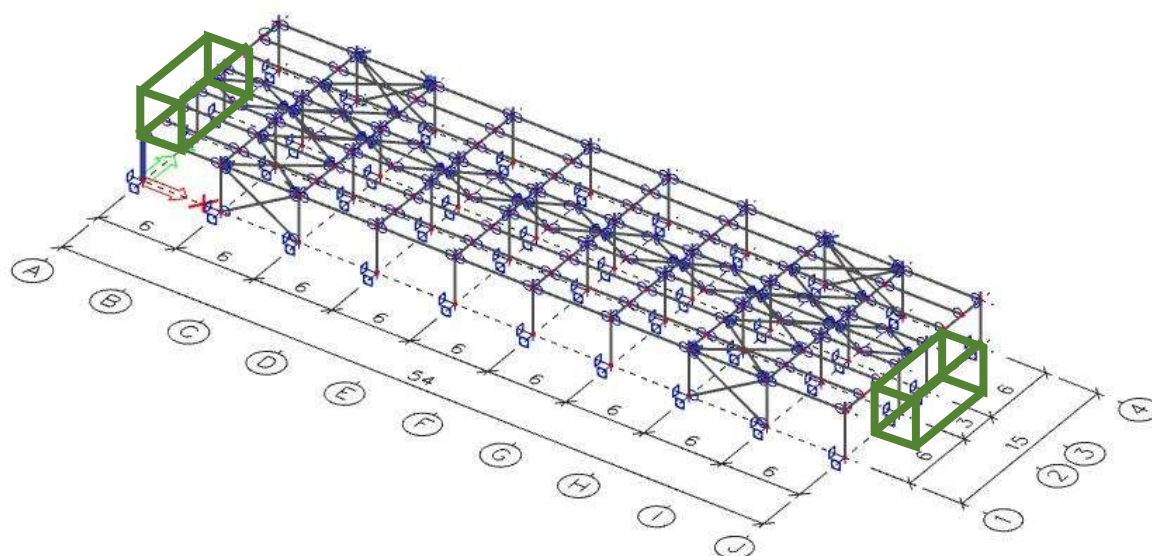
1.1 ZE STATICKÉHO HLEDISKA

1.1.1 Varianta 1

1.1.1.1 Statické řešení

Nosná ocelová konstrukce je tvořena kloubově uloženými sloupy. Rovněž je uvažováno kloubové spojení stropnice na průvlak a průvlak na sloup. Sloupy jsou navrženy na výšku podlaží. Stabilita konstrukce je v příčném směru zajištěna pomocí stěnových a vodorovných ztužidel, kloubově uložených. V podélném směru stabilitu zajišťují vodorovná ztužidla společně s betonovými věžemi, mezi které je konstrukce zasazena.

1.1.1.2 Schéma konstrukce

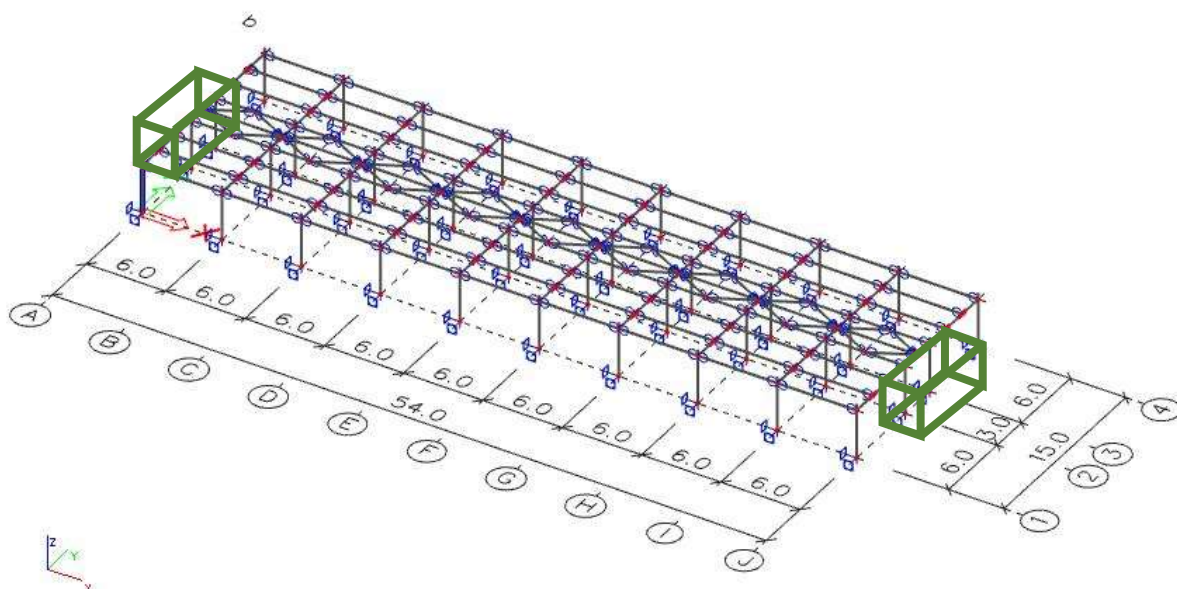


1.1.2 Varianta 2

1.1.2.1 Statické řešení

Nosná ocelová konstrukce je tvořena kloubově uloženými sloupy. Rovněž je uvažováno kloubové spojení stropnice na průvlak. V příčném směru je uvažováno rámové spojení průvlaku na sloup. Sloupy jsou navrženy na výšku podlaží. V podélném směru stabilitu zajišťují vodorovná ztužidla kloubově uložená společně s betonovými věžemi, mezi které je konstrukce zasazena.

1.1.2.2 Schéma konstrukce

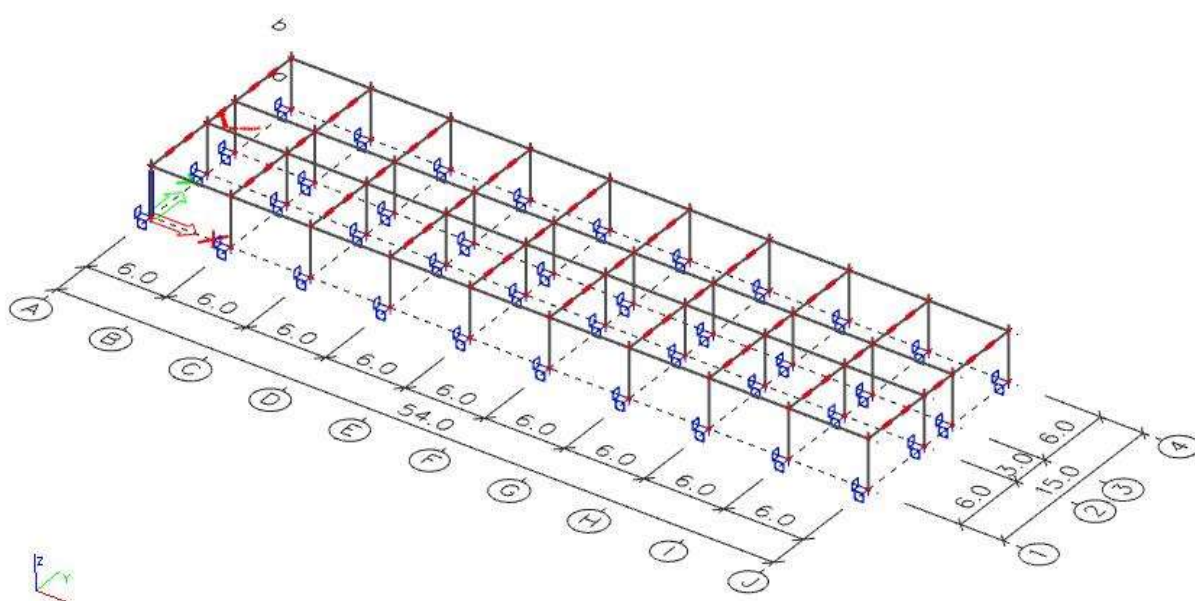


1.1.3 Varianta 3

1.1.3.1 Statické řešení

Nosná ocelová konstrukce je tvořena kloubově uloženými sloupy. Rovněž je uvažováno kloubové spojení stropnice na průvlak. V příčném směru je uvažováno rámové spojení průvlaku na sloup. Sloupy jsou navrženy na výšku podlaží. V podélném směru stabilitu zajišťují vodorovná ztužidla kloubově uložená společně s betonovými věžemi, mezi které je konstrukce zasazena.

1.1.3.2 Schéma konstrukce

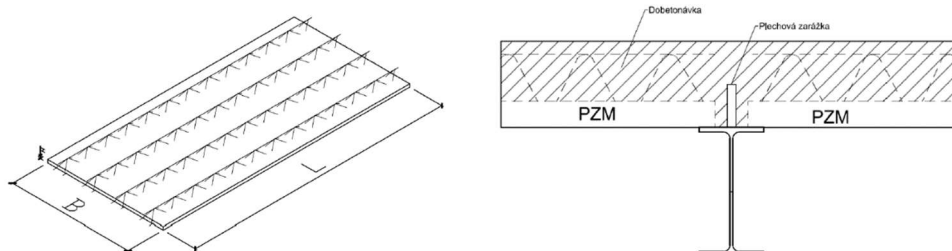


1.2 Z KONSTRUKČNÍHO HLEDISKA

1.2.1 Varianta A

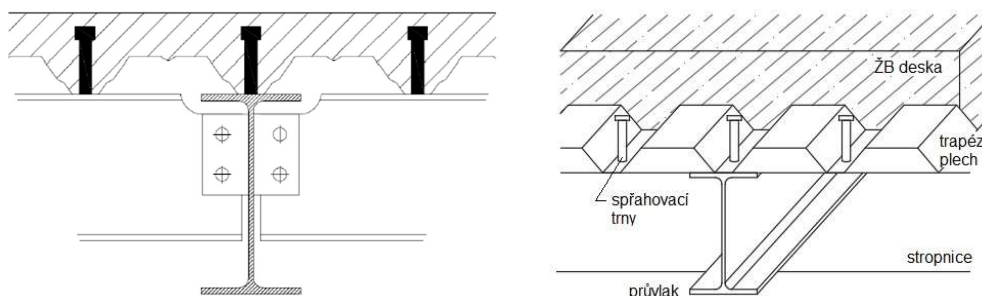
Stropní konstrukce je uvažována jako prefabrikovaný strop FILIGRÁN PZM (Prefa produkt) uložený na stropnice. Spojení je zajištěno pomocí plechových zarážek.

Výška stropní tabule $H = 200 \text{ mm}$, PZM 205/824 – $h = 60 \text{ mm}$.



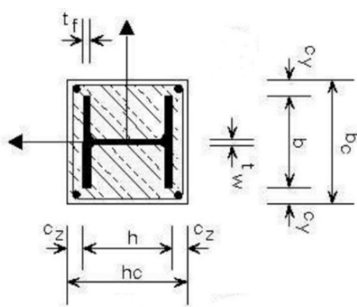
1.2.2 Varianta B

V téhle variantě uvažujeme mezi stropnicemi spřaženou plechobetonovou desku. Za studena tvarované plechy jsou zalité betonem do výšky 65 mm nad hlavní vlnu a spřažení (tj. spolupůsobení desky a nosníku) je zajištěno spřahovacími trny. Plechobetonová deska je spřažena také s průvlaky.



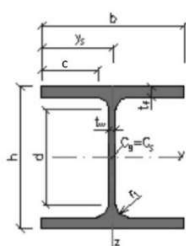
1.2.2.1 Varianta B.1

Jedná se o návrh spřaženého sloupu. Ocelový průřez typu „HEB“ byl navrhnout jako celý obetonovaný z důvodů ochrany proti mechanickému a požárnímu poškození průřezu. Ocelový průřez není po výšce objektu uvažován jako odstupňovaný.



1.2.2.2 Varianta B.2

Tato varianta uvažuje návrh sloupu pouze jako ocelový průřez typu „HEB“, který po výšce budovy nemění svůj průřez.



2 POROVNÁNÍ VARIANT

Byly vypracovány tři statické varianty řešení a dvě konstrukční varianty pro stropní konstrukci a sloupy.

Všechny statické varianty jsou půdorysně stejné, jen varianta 1 a 2 mají také navržené ztužidla ve směrech dle potřeby. Varianta 3 je uvažována jako prostorový rám.

Varianty byly posouzeny z hlediska celkové hospodárnosti konstrukce a vodorovná deformace budovy.

2.1 HOSPODÁRNOST KONSTRUKCE

2.1.1 Varianta 1 – Kloubově uložená

Hmotnost nosné konstrukce je 316 t.

Vnitřní síly na prutu

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
Výběr : Vše
Třída : RC1_kombinace

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Sl145	Sloup1 - HEB320	0,000	CO24/8	-2353,90	0,05	1,17	0,00	-3,47	-0,11
N286	StroniceHlavni - IPE220	3,000	CO20/2	391,99	-0,44	-0,22	0,00	85,31	0,24
Sl41	Sloup1 - HEB320	0,000	CO20/2	-1618,46	-24,60	-0,39	0,00	1,13	74,43
Sl16	Sloup1 - HEB320	0,000	CO18/9	-149,06	16,50	-0,09	0,00	0,31	-10,45
Nv7	Pruvlak - IPE270	6,000	CO10/7	-5,77	1,42	-130,75	0,00	0,00	1,69
Nv188	Pruvlak - IPE270	0,000	CO10/7	-16,30	6,34	130,75	0,00	0,00	-7,48
N383	StroniceHlavni - IPE220	0,000	CO13/5	-3,69	-0,60	29,60	-2,94	0,00	1,77
N415	StroniceHlavni - IPE220	6,000	CO13/5	-3,69	0,60	-29,60	2,94	0,00	1,77
Nv209	Pruvlak - IPE270	2,000	CO24/8	8,38	0,10	49,20	0,00	-55,93	-0,16
Nv38	Pruvlak - IPE270	2,400	CO10/7	2,95	-0,54	-0,02	0,00	260,55	0,94
Sl36	Sloup1 - HEB320	1,850	CO5/1	-622,59	0,37	0,00	0,00	0,08	-19,06

Výkaz materiálu

Jméno	Hmotnost [kg]	Povrch [m ²]	Objem [m ³]	Vysvětlivky symbolů			
Celkový součet :	315984,5	7538,543	4,0253e+01	Povrch	Pozn.: pro výpočet plochy povrchu se uvažuje pouze jeden povrch každého 2D dílce		
Průřez	Materiál	Jednotková hmotnost [kg/m]	Délka [m]	Hmotnost [kg]	Povrch [m ²]	Objemová hmotnost [kg/m ³]	Objem [m ³]
Sloup1 - HEB320	S 355	126,6	1184,000	149918,4	2095,674	7850,0	1,9098e+01
StroniceHlavni - IPE220	S 355	26,2	1728,000	45306,4	1464,481	7850,0	5,7715e+00
Pruvlak - IPE270	S 355	36,0	1200,000	43237,8	1249,114	7850,0	5,5080e+00
StropniceBezna - IPE220	S 355	26,2	2160,000	56632,9	1830,598	7850,0	7,2144e+00
Ztužidlo Pricne - 2LT (L50X5; 5)	S 355	9,9	1357,211	13445,5	578,445	7850,0	1,7128e+00
Ztužidlo Podelné - 2LT (L50X5; 5)	S 355	9,9	751,320	7443,1	320,213	7850,0	9,4817e-01

2.1.2 Varianta 2 – Příčný rám

Hmotnost nosné konstrukce je 484 t.

Vnitřní síly na prutu

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní

Výběr : Vše

Třída : Všechny MSU

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B265	rám - Iw	0,000	CO21/1	-2591,55	0,12	56,91	0,00	-142,17	-0,27
B75	rám - Iw	4,000	CO17/2	36,14	0,68	-71,11	0,00	63,59	0,92
B544	rám - Iw	0,000	CO6/3	-137,76	-13,47	17,54	0,00	-24,60	7,53
B33	rám - Iw	0,000	CO13/4	-1281,35	24,62	8,39	0,00	-9,49	-260,50
B230	rám - Iw	6,000	CO21/1	7,17	0,11	-174,46	0,00	-288,42	0,02
B75	rám - Iw	0,000	CO23/5	32,58	0,08	142,79	0,00	-188,04	-0,11
V256	Vaznice1 - IPE200	0,000	CO21/1	-4,77	-0,05	35,60	-2,91	0,00	0,15
V288	Vaznice1 - IPE200	6,000	CO21/1	-4,77	0,05	-35,60	2,91	0,00	0,15
B314	rám - Iw	3,700	CO11/6	-1940,32	0,04	100,86	0,00	182,98	-0,03
B41	rám - Iw	0,000	CO13/4	-1281,35	24,62	-8,39	0,00	9,49	-260,50
B19	rám - Iw	6,000	CO21/1	6,50	7,77	-75,92	0,00	-98,62	12,71

Výkaz materiálu

Jméno	Hmotnost [kg]	Povrch [m ²]	Objem [m ³]
Celkový součet :	483523,4	8415,192	6,1595e+01

Vysvětlivky symbolů

Povrch	Pozn.: pro výpočet plochy povrchu se uvažuje pouze jeden povrch každého 2D dílce
--------	--

Průřez	Materiál	Jednotková hmotnost [kg/m]	Délka [m]	Hmotnost [kg]	Povrch [m ²]	Objemová hmotnost [kg/m ³]	Objem [m ³]
Vaznice1 - IPE200	S 235	22,4	1728,000	38659,6	1327,286	7850,0	4,9248e+00
VaznicePom - IPE200	S 235	22,4	2160,000	48324,5	1659,108	7850,0	6,1560e+00
rám - Iw (360; 20; 360; 20; 320; 0)	S 355	163,3	2383,992	389259,6	5054,098	7850,0	4,9587e+01
Ztuzidlo Podélné - 2LT (L50X5; 5)	S 355	7,5	965,984	7279,6	374,730	7850,0	9,2734e-01

2.1.3 Varianta 3 – Prostorový rám

Hmotnost nosné konstrukce je 503 t.

Vnitřní síly na prutu

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní

Výběr : Vše

Třída : RC1

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B433	Rám - 2U komora	0,000	CO21/1	-2514,68	-1,44	-66,06	-0,28	144,12	1,86
B343	Rám - 2U komora	4,000	CO25/2	20,16	0,19	-6,77	-1,45	-0,42	0,43
B504	Rám - 2U komora	3,700	CO21/1	-135,77	-50,86	-4,67	0,03	-10,17	-86,82
B432	Rám - 2U komora	3,700	CO21/1	-135,77	50,86	-4,67	-0,03	-10,17	86,82
B177	Rám - 2U komora	6,000	CO13/3	2,35	-0,06	-161,37	0,04	-183,46	-0,17
B185	Rám - 2U komora	0,000	CO11/4	-8,37	0,90	149,93	-0,52	-152,42	-2,67
B1095	Rám - 2U komora	0,000	CO21/1	-32,73	-2,11	94,15	-3,33	-62,59	6,70
B1103	Rám - 2U komora	6,000	CO21/1	-32,73	2,11	-94,15	3,33	-62,59	6,70
B33	Rám - 2U komora	0,000	CO6/5	-1202,52	-0,05	-73,12	-0,01	159,15	0,11

Výkaz materiálu

Jméno	Hmotnost [kg]	Povrch [m ²]	Objem [m ³]
Celkový součet :	502909,9	4769,920	6,4065e+01

Vysvětlivky symbolů

Povrch	Pozn.: pro výpočet plochy povrchu se uvažuje pouze jeden povrch každého 2D dílce
--------	--

Průřez	Materiál	Jednotková hmotnost [kg/m]	Délka [m]	Hmotnost [kg]	Povrch [m ²]	Objemová hmotnost [kg/m ³]	Objem [m ³]
Rám - 2U komora (UPE360)	S 355	122,3	4111,993	502908,6	4769,902	7850,0	6,4065e+01

2.1.4 Řešení stropní konstrukce

Varianta A – prefabrikovaný strop FILIGRÁN PZM

$$g_{0k} = 5,00 \text{ kN/m}^2$$

výhody: bezvaznicový systém (úspora oceli), únosnost

nevýhody: nespřažená konstrukce – jen součást stabilizačního systému, vyšší stavební výška a hmotnost

Varianta B – plechobetonová spřažená deska

$$g_{0k} = 2,20 \text{ kN/m}^2$$

výhody: spřažená konstrukce – zajištění tuhosti v rovině,
snížení

spotřeby oceli, nižší stavební výška, nižší hmotnost

nevýhody: delší doba montáže (tvrdnutí betonu)

2.1.5 Řešení sloupů

Varianta B.1 – spřažený ocelobetonový sloup

HEB 180 – $G = 51,2 \text{ kg/bm}$; cena $16,40 \text{ Kč/kg}$

Beton C25/30 – $G = 0,0719 \text{ m}^3$ ($\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$) ; cena 2232 Kč/m^3

hmotnost betonu $0,0719 \times 2500 = 179,75 \text{ kg}$

Bet. výztuž B500B – $4 \text{ } \varnothing 22 \text{ mm}$; cena $83,79 \text{ Kč/bm}$ (1 prut)

hmotnost výztuže $4 \times 2,89 \text{ kg/bm} = 11,56 \text{ kg/bm}$

celková hmotnost = HEB 180 + beton + výztuž = $51,2 + 179,5 + 11,56 =$
 $= 242,26 \text{ kg/bm}$

cena = průřez HEB 180 + beton + výztuž = $51,2 \times 16,40 +$
 $+ 0,0719 \times 2232 + 4 \cdot 89,79 = 839,68 + 160,43 + 335,16 \doteq 1335 \text{ Kč}$

výhody: levnější, úspora oceli, únosnost

nevýhody: vyšší hmotnost, delší doba montáže (tvrdnutí betonu)

Varianta B.2 – ocelový průřez

HEB 320 – G = 127 kg/bm; cena 18,10 Kč/kg

cena průřezu HEB 320 = 127 kg/bm x 18,10 Kč/kg ÷ 2300 Kč/bm

výhody: nižší hmotnost, jednodušší výstavba

nevýhody: dražší

2.2 DEFORMACE BUDOVY

VAR 1 – Kloubově uložená

Přemístění uzlů

Lineární výpočet, Extrém : Globální
Výběr : Vše
Třída : RC1_kombinace

Uzel	Stav	Ux [mm]	Uy [mm]
N319	CO5/3	-10,6	0,1
N301	CO5/3	10,6	0,1
N203	CO18/18	0,4	-0,2
N169	CO5/3	0,2	97,1

VAR 2 – Příčný rám

Přemístění uzlů

Lineární výpočet, Extrém : Globální
Výběr : Vše
Třída : Všechny MSJ

Uzel	Stav	Ux [mm]	Uy [mm]
N399	CO14/9	-0,9	27,9
N838	CO7/7	17,8	0,0
N254	CO10/10	0,0	-0,1
N243	CO21/1	0,0	35,0

VAR 3 – Prostorový rám

Přemístění uzlů

Lineární výpočet, Extrém : Globální
Výběr : Vše
Třída : RC1

Uzel	Stav	Ux [mm]	Uy [mm]
N90	CO21/1	-0,4	44,5
N9	CO23/6	20,6	0,0
N107	CO25/2	19,5	0,0
N144	CO21/1	0,0	52,3

3 VYHODNOCENÍ

Varianta 1 – kloubově uložená, spolu s variantou B – plechobetonová stropní deska a variantou B.2 – sloup z ocelového průřezu vychází nejehospodárněji z důvodu menší zatížitelnosti konstrukce. Ovšem varianta B.1 – sloup ocelobetonový vychází cenově hospodárněji.

Z hlediska vodorovné deformace v podélném budovy vychází s nejmenším přemístěním uzlů varianta 1 – kloubově uložená, ale další varianty nejsou výrazně odlišné.

Závěr:

Mnou zvolená konstrukce je varianta 1 – nosná ocelová konstrukce s kloubově uloženými sloupy, dále je uvažováno kloubové spojení stropnice (vaznice) s průvlaky (vazníky) a také kloubové připojení průvlaků (vazníků) na sloupy. Stropní konstrukce je tvořena plechobetonovou spřaženou deskou a sloupy navržené jako ocelový průřez.

Pro vybrané statické a konstrukční řešení bylo provedeno statické posouzení vybraných částí konstrukce.

TECHNICKÁ ZPRÁVA

TECHNICAL REPORT

OBSAH

1	Obecné údaje	3
2	Normativní dokumenty	3
3	Materiály	3
4	Zatížení	4
4.1	Stálé zatížení.....	4
4.2	Proměnné zatížení.....	4
4.3	Klimatické zatížení.....	4
5	Statické řešení	5
6	Podrobný popis konstrukce.....	5
6.1	Vodorovné nosné konstrukce	5
6.1.1	Stropní a střešní konstrukce	5
6.1.2	Stropnice (vaznice).....	6
6.1.3	Průvlak (vazník)	6
6.1.4	Podélné ztužidlo.....	6
6.1.5	Příčné ztužidlo.....	6
6.2	Svislé nosné konstrukce	7
6.2.1	Sloupy.....	7
6.2.2	Stěnová ztužidla	7
7	Povrchová úprava.....	7
8	Návrh a postup montáže	7

1 OBECNÉ ÚDAJE

Předmětem této práce je návrh vícepodlažní budovy s nosnou ocelovou konstrukcí. Půdorysné rozměry budovy jsou 54,0 m x 15,0 m a na výšku 26,9 m. V příčném směru je budova řešena jako trojtakt 6,0 + 3,0 + 6,0 m a v podélném směru 9 x 6,0 m. Jedná se o osmipodlažní budovu umístěnou mezi dvě železobetonové věže s půdorysem 9,0 x 9,0 m, které jsou určeny pro vertikální dopravu. Budova je nepodsklepená. Celý koncept budovy je uvažován pro administrativní využití.

2 NORMATIVNÍ DOKUMENTY

Nosná ocelová konstrukce administrativní budovy je navržena s těmito platnými normativními dokumenty:

- ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí
- ČSN EN 1991 Zatížení konstrukcí
 - část – 1-1 Obecná zatížení – Objem. tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
 - část – 1-3 Obecná zatížení – Zatížení sněhem
 - část – 1-4 Obecná zatížení – Zatížení větrem
- ČSN EN 1993 Navrhování ocelových konstrukcí
 - část – 1-1 Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
 - část – 1-8 Navrhování styčníků
- ČSN EN 1994 Navrhování spřažených ocelobetonových
 - část – 1-1 Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

3 MATERIÁLY

Pro nosnou konstrukci je použita ocel S 355. Navržené spřahovací prvky jsou trny provedeny v jakosti 4.8, trapézové plechy z oceli S 320G. Šroubové spoje jsou uvažovány v jakosti 5.6 a 8.8 VP. Kotvení sloupů je navrženo pomocí předem zabetonovaných šroubů s hlavou a patního plechu z oceli S235 do základu z betonu C25/30.

4 ZATÍŽENÍ

Vlastní tíha ocelové konstrukce je určena výpočtovým softwarem SCIA Engineer.

4.1 STÁLÉ ZATÍŽENÍ

Zatížení od skladby stropní konstrukce je $3,6 \text{ kN/m}^2$. Stropní konstrukce je také zatěžována hodnotou přemístitelných příček $0,5 \text{ kN/m}^2$. Zatížení od skladby střešního pláště $4,3 \text{ kN/m}^2$, dále je střešní konstrukce zatížena atikou $1,1 \text{ kN/m}^2$. Obvodový plášť má hmotnost 500 kg .

4.2 PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ

Proměnné zatížení na stropní konstrukci je uvažováno charakteristickou hodnotou $3,0 \text{ kN/m}^2$, dle tab. 6.2 v ČSN EN 1991-1-1 pro kategorii B (kancelářské plochy). Nahodilé zatížení na střešní konstrukci je uvažováno charakteristickou hodnotou $1,0 \text{ kN/m}^2$, dle tab. 6.10 – Užitná zatížení střech kategorie H (kategorie H – střechy nepřípustné s výjimkou běžné údržby a oprav). v ČSN EN 1991-1-1.

4.3 KLIMATICKÉ ZATÍŽENÍ

Zatížení sněhem s charakteristickou hodnotou $s_k = 0,7 \text{ kPa}$ pro oblast I – lokalita Brno dle mapy sněhových oblastí na území ČR z ČSN EN 1991-1-4.

Zatížení větrem se základní rychlostí větru $v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$ pro oblast II – lokalita Brno dle mapy větrných oblastí na území ČR z ČSN EN 1991-1-4.

5 STATICKÉ ŘEŠENÍ

Nosná ocelová konstrukce je tvořena kloubově uloženými sloupy s kloubově připojenými průvlaky (vazníky) v příčném směru a stropnicemi (vaznicemi) v podélném směru. Dále jsou kloubově připojeny také diagonální pruty vodorovných i svislých ztužidel. Sloupy jsou navrženy výrobních délkách 12,0 m, 11,1 m a 6,5 m se vzpěrnou délkou 3,7 m, tj. výška podlaží. Průvlaky (vazníky) jsou navrženy na modulovou délku 3,0 m a 6,0 m a stropnice (vaznice) na modulovou délku 6,0 m. Stabilita konstrukce je ve vodorovném směru zajištěna ztužidly v podélném i příčném směru. Stabilitu v příčném směru zajišťují železobetonové věže o půdorysných rozměrech 9,0 x 9,0 m, ke kterým je konstrukce připojena čepovými spoji umístěnými v každém podlaží. Připojení k jedné z věží je kloubově neposuvné a k druhé věži kloubově s umožněným posunem v podélném směru.

Celá konstrukce bylo modelována v programu SCIA Engineer. Jako typ konstrukce byla volena obecná XYZ. Dále byl proveden výpočet působícího zatížení dle ČSN EN 199 Zatížení staveb.

6 PODROBNÝ POPIS KONSTRUKCE

6.1 VODOROVNÉ NOSNÉ KONSTRUKCE

6.1.1 Stropní a střešní konstrukce

Stropní konstrukce je tvořena ocelobetonovou deskou spřaženou s průvlaky (vazníky) a stropnicemi (vaznicemi). Ocelobetonová deska je tvořena trapézovým plechem TR 55/250 a deskou z betonu C25/30. Celková výška stropní desky je 120 mm, výška trapézového plechu činí 55 mm a výška betonu je 65 mm. Spřažení je provedeno pomocí spřahovacích trnů SD $\varnothing 19$ mm a délky $L = 100$ mm v jakosti 4.8. Trny jsou vařeny po osové vzdálenosti vlny plechu – 250 mm. Plechobetonovou desku je nutno vyztužit kari sítí s oky 150 x 150 mm.

Střešní konstrukce je spádovaná vrstvou lehkého betonu a její vnější (povrchová) vrstva je tvořena hydroizolací Dekplan.

6.1.2 Stropnice (vaznice)

Stropnice profilu IPE 220 z oceli S355 jsou umístěny v podélném směru s délkou 6,0 m. V krajních traktech je jejich osová vzdálenost 2,0 m, ve středním traktu je osová vzdálenost 1,5 m. Jsou kloubově uloženy na průvlaky a sloupy. Na průvlaky jsou připojeny pomocí dvojicí šroubů M20 5.6 přes přivařené plechy P8-70x120 koutovým svarem o účinné tloušťce $a = 3$ mm. Jsou navrženy jako spřažené s plechobetonovou deskou.

6.1.3 Průvlak (vazník)

Průvlaky profilu IPE 270 z oceli S355 jsou umístěny v příčném směru s délkou 6,0 m v krajních traktech a 3,0 m ve středním traktu. Jejich osová vzdálenost je 6,0 m. Jsou kloubově uloženy na sloupy. Připojení je řešeno pomocí čtveřice šroubů M16 8.8 přes přivařené plechy P8-70x120 z oceli S235 koutovým svarem o účinné tloušťce $a = 3$ mm. Jsou navrženy jako spřažené s plechobetonovou deskou.

6.1.4 Podélné ztužidlo

Podélné ztužidla jsou navržena z profilu L 80x80x6 z oceli S355. Jsou kloubově připojená ke styčnickovému plechu přivařeného k průvlakům (vazníkům) v takové výšce, aby se nedotýkala podhledu plechobetonové stropní konstrukce a dolní pásnice stropnice (vaznice) připojené k průvlaku (vazníku).

6.1.5 Příčné ztužidlo

Příčné ztužidla jsou navržena z profilu L 50x50x5 z oceli S355. Jsou kloubově připojená ke styčnickovému plechu, který je přivařen k průvlaku (vazníku) v takové výšce, aby se nedotýkala podhledu plechobetonové stropní konstrukce a dolní pásnice připojené stropnice (vaznice).

6.2 SVISLÉ NOSNÉ KONSTRUKCE

6.2.1 Sloupy

Sloupy jsou navrženy z profilu HEB 320 o výrobních délkách 12,0 m, 11,1 m a 6,5 m se vzpěrnou délkou 3,7 m (výška patra). Protože sloupy po výšce budovy nemění průřez mohou být spojeny tupým svarem. Sloupy budou děleny na tři montážní díly o délkách 12,0m, 11,1 m a 6,5m. Montážní styk bude proveden 0,9 m nad podlahou v 4.NP a 7.NP.

6.2.2 Stěnová ztužidla

Svislá ztužidla jsou navrženy z profilu 2x L35/35/3 z oceli S355. Jsou kloubově připojená ke sloupům a průvlakům pomocí šroubů a styčnickového plechu. Křížení je řešené také šroubovým spojem.

7 POVRCHOVÁ ÚPRAVA

Všechny prvky nosné ocelové konstrukce budou žárově zinkovány dle ČSN EN ISO 1461 a proti požáru bude konstrukce chráněna dle ČSN EN 1993-1-2 (73 1401).

8 NÁVRH A POSTUP MONTÁŽE

Nejprve se provede vybetonování železobetonových věží. Z ocelové konstrukce budou jako první osazeny sloupy v 1.NP. Dále budou připojeny vodorovné pruty ztužidel v podélném a příčném směru, dále také stěnová ztužidla. Postupovat se bude od ŽB věže, ke které je konstrukce připojována kloubově neposuvným spojem. Poté budou na sloupy osazeny ocelové průvlaky (vazníky) a stropnice (vaznice). Tím dojde k vytvoření stabilního celku. Následně se provede uložení trapézových plechů a bude provedena betonáž. Při betonáži stropnice (vaznice) nemusí být podepřeny. Obdobným způsobem bude provedena montáž dalších podlaží.

STATICKÝ VÝPOČET

STATIC CALCULATION

OBSAH

1	Stálé zatížení	7
1.1	Vlastní tíha	7
1.2	Stropní konstrukce.....	7
1.3	Příčky.....	8
1.4	Střešní plášť	9
1.5	Atika	10
1.6	Obvodový plášť	10
2	Užitná zatížení	11
2.1	Stropní konstrukce.....	11
2.2	Střešní konstrukce	11
3	Proměnné zatížení	11
3.1	Zatížení sněhem [ČSN EN 1991-1-3]	11
3.1.1	Sníh rovnoměrný	11
3.1.2	Návěje sněhu u atiky	12
3.2	Zatížení větrem [ČSN EN 1991-1-4]	12
3.2.1	Základní rychlost větru	12
3.2.2	Střední rychlost větru	12
3.2.3	Intenzita turbulence	13
3.2.4	Maximální dynamický tlak.....	13
3.2.5	Tlak větru na povrchy	13
4	Stropnice	15
4.1	Geometrie	15
4.2	Výpočtový model	16
4.3	Návrh a posouzení varianty A.....	16
4.3.1	Zatížení	16
4.3.2	Vnitřní síly.....	17

4.3.3	Materiál	17
4.3.4	Průřezové charakteristiky.....	17
4.3.5	Posouzení na ohyb.....	18
4.3.6	Posouzení stropnice na ohyb s klopením	18
4.3.7	Posouzení na smyk	22
4.4	Návrh a posouzení varianty B	23
4.4.1	Posouzení trapézového plechu	23
4.4.2	Posouzení stropnice	30
5	Průvlak.....	40
5.1	Geometrie	40
5.2	Výpočtový model	40
5.3	Návrh a posouzení varianty A.....	41
5.3.1	Geometrie a materiál	41
5.3.2	Zatížení	41
5.3.3	Vnitřní síly.....	42
5.3.4	Průřezové charakteristiky.....	42
5.3.5	Posouzení na ohyb.....	42
5.3.6	Posouzení stropnice na ohyb s klopením.....	43
5.4	Návrh a posouzení varianty B	47
5.4.1	Geometrie a materiál	47
5.4.2	Zatížení	48
5.4.3	Vnitřní síly.....	49
5.4.4	Průřezové charakteristiky.....	50
5.4.5	Posouzení únosnosti – MSÚ	50
5.4.6	Posouzení použitelnosti – MSP	54
6	Sloupy.....	55
6.1	Geometrie	55
6.2	Návrh a posouzení varianty B.1	56

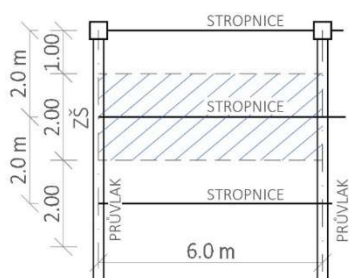
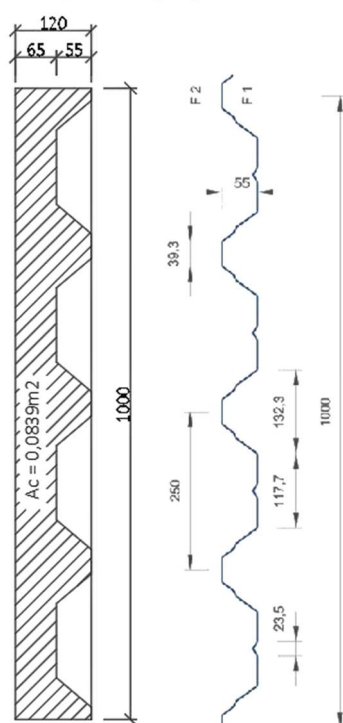
6.2.1	Geometrie a materiál	56
6.2.2	Vnitřní síly	58
6.2.3	Průřezové charakteristiky	58
6.2.4	Návrh obetonování sloupu	59
6.2.5	Posouzení únosnosti průřezu v tlaku	60
6.2.6	Posouzení na vzpěrný tlak	60
6.2.7	Posouzení únosnosti v ohybu	62
6.2.8	Posouzení únosnosti při kombinaci tlaku a ohybu	64
6.3	Návrh a posouzení varianty B.2	65
6.3.1	Geometrie a materiál	65
6.3.2	Vnitřní síly	66
6.3.3	Průřezové charakteristiky	67
6.3.4	Posouzení vnitřního sloupu	68
6.3.5	Posouzení krajního sloupu	72
7	Návrh ztužidel	77
7.1	Zatížení vodorovného ztužidla	77
7.1.1	Schéma geometrie vodorovných ztužidel	77
7.1.2	Zatížení vodorovných ztužidel větrem	77
7.2	Vodorovné ztužidlo v příčném směru	78
7.2.1	Geometrie a materiál	78
7.2.2	Vnitřní síly	79
7.2.3	Průřezové charakteristiky	79
7.2.4	Posouzení MSÚ - tah	80
7.3	Vodorovné ztužidlo v podélném směru	80
7.3.1	Geometrie a materiál	80
7.3.2	Vnitřní síly	81
7.3.3	Průřezové charakteristiky	81
7.3.4	Posouzení MSÚ - tah	82

7.4	Svislé stěnové ztužidlo	82
7.4.1	Schéma geometrie svislých ztužidel	82
7.4.2	Zatížení stěnových ztužidel	82
7.4.3	Geometrie a materiál	83
7.4.4	Vnitřní síly v diagonále	84
7.4.5	Průřezové charakteristiky	84
7.4.6	Posouzení MSÚ - tah	85
8	Přípoje	85
8.1	Přípoj stropnice na průvlak	85
8.1.1	Geometrie a materiál	85
8.1.2	Posouzení ve stříhu	86
8.1.3	Posouzení na otláčení	87
8.1.4	Posouzení svarového spoje	87
8.1.5	Posouzení na vytržení skupiny šroubů	88
8.2	Přípoj průvlaku na sloup	89
8.2.1	Geometrie a materiál	89
8.2.2	Posouzení ve stříhu	91
8.2.3	Posouzení na otláčení	91
8.2.4	Posouzení svarového spoje	92
8.3	Přípoj stropnice na sloup	92
8.3.1	Geometrie a materiál	92
8.3.2	Posouzení ve stříhu	94
8.3.3	Posouzení na otláčení	94
8.3.4	Posouzení svarového spoje	95
8.4	Ztužidla	95
8.4.1	Přípoj vodorovného podélného ztužidla	95
8.4.2	Přípoj svislého stěnového ztužidla	104

8.5	Montážní spoj sloupů	109
8.6	Kotvení sloupů	109
8.6.1	Návrh kotvení sloupů	109
8.7	Připojení konstrukce na betonové věže	113
8.7.1	Zatížení od větru.....	113
8.7.2	Geometrie a materiál	113
8.7.3	Posouzení na střih	114
8.7.4	Posouzení na otláčení.....	114
8.7.5	Posouzení na ohyb.....	114
8.7.6	Posouzení na kombinaci ohybu a střihu.....	115
8.7.7	Posouzení svarového spoje	115

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

STROPNÍ DESKA
ŽB C25/30 + TR 55/250/1



1 STÁLÉ ZATÍŽENÍ

1.1 VLASTNÍ TÍHA

Generovaná v modelu Scia Engineering.

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

1.2 STROPNÍ KONSTRUKCE

Skladba stropu:

Vrstva	Tloušťka [m]	Obj. tíha [kN/m³]	Plošné zat. [kN/m²]
Podlaha:			
Keramická dlažba	0,008	23	0,176
Lepidlo na keramickou dlažbu	0,005	20	0,100
Betonová mazanina	0,040	23	0,920
Tepelná izolace EPS 100S	0,020	1,5	0,030
Stropní deska:			
ŽB deska C25/30	0,0839	25	2,098
Trapézový plech TR	0,001		0,098
Podhled:			
SDK podhled	0,024		0,175
CELKEM			3,597 kN/m²

PŘEPOČET NA LINIOVÉ ZATÍŽENÍ NA STROPNICE:

Podlaha: $(0,176+0,100+0,920+0,03) \text{ kN/m}^2 \cdot 2,0 \text{ m} = 2,452 \text{ kN/m}$

Stropní deska: $(2,098+0,098) \text{ kN/m}^2 \cdot 2,0 \text{ m} = 4,392 \text{ kN/m}$

Podhled: $(0,175) \text{ kN/m}^2 \cdot 2,0 \text{ m} = 0,350 \text{ kN/m}$

1.3 PŘÍČKY

Akustické příčky Rigips jednoduše opláštěné:

Opláštění	Akustické sádrokartonové desky Rigips MA
Konstrukce	Svislý profil R-CW 75; Vodorovný profil R-UW 75
Izolace	Minerální izolace Isover Piano
Tloušťka stěny	100 mm
Hmotnost konstrukce	28 kg/m ²
Výška příčky	3400 mm

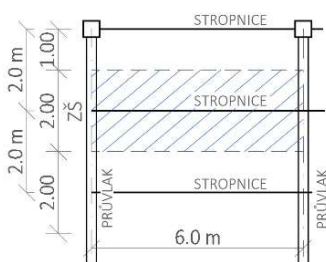
Vlastní tíha příčky $0,28 \cdot 3,4 = 0,952 \text{ kN/m'}$.

Přemístitelné příčky s vlastní tíhou $\leq 1,0 \text{ kN/m}$ délky příčky lze uvažovat jako rovnoměrné zatížení plošné (dle ČSN EN 1991-1-1)

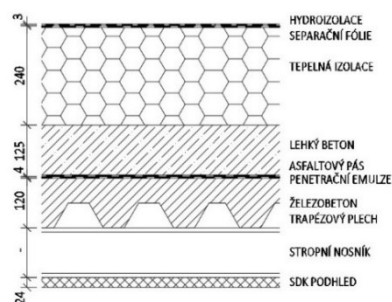
$q_{k,př} = 0,5 \text{ kN/m}^2$.

PŘEPOČET NA LINIOVÉ ZATÍŽENÍ NA STROPNICE:

$$0,5 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,0 \text{ m} = 1,0 \text{ kN/m}$$



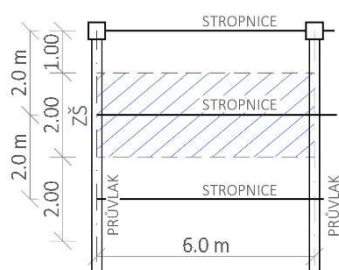
SKLADBA STŘECHY



1.4 STŘEŠNÍ PLÁŠŤ

Skladba střechy:

Vrstva	Tloušťka [m]	Obj. tíha [kN/m ³]	Plošné zat. [kN/m ²]
Střešní plášť:			
Hydroizolace Dekplan	0,003		0,037
SeparáčnÍ fólie	-		
Tepelná izolace Isover-S	0,240	1,75	0,420
Spádová vrstva lehký beton	0,125	11	1,375
Asfaltový pás	0,004		0,046
Penetrační emulze	-		
Stropní deska:			
ŽB deska C25/30	0,0839	25	2,098
Trapézový plech TR 55/250/1	0,001		0,098
Podhled:			
SDK podhled			0,175
CELKEM			4,249 kN/m²



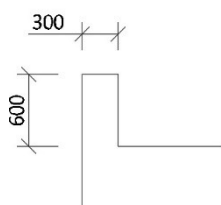
PŘEPOČET NA LINIOVÉ ZATÍŽENÍ NA STROPNICE:

$$\text{Střešní plášť: } (0,037 + 0,420 + 1,375 + 0,046) \text{ kN/m}^2 \cdot 2,0 \text{ m} = 3,756 \text{ kN/m}$$

$$\text{Stropní deska: } (2,098 + 0,098) \text{ kN/m}^2 \cdot 2,0 \text{ m} = 4,392 \text{ kN/m}$$

$$\text{Podhled: } (0,175) \text{ kN/m}^2 \cdot 2,0 \text{ m} = 0,350 \text{ kN/m}$$

ATIKA



1.5 ATIKA

Tvárnice YTONG; zakončení atiky – hliníkový plech

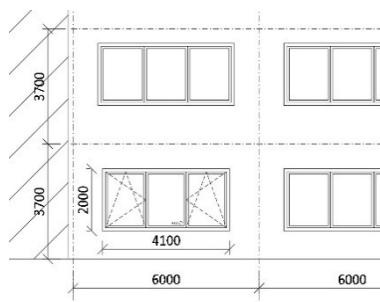
Vrstva	Tloušťka [m]	Obj. tíha [kN/m ³]	Liniové zat. [kN/m]
Tvárnice YTONG			
0,6 m · 0,3 m		6	1,080
Hliníkový plech			
0,3 m	0,002	27	0,016
CELKEM			1,096 kN/m

1.6 OBVODOVÝ PLÁŠŤ

Fasádní systém Kingspan Optimo

Prosklení systém WICONA – WICLINE EVO o rozměru 4,1 x 2,0 m

Objekt rozdělený na stejná pole o rozměru 3,7 x 6,0 m

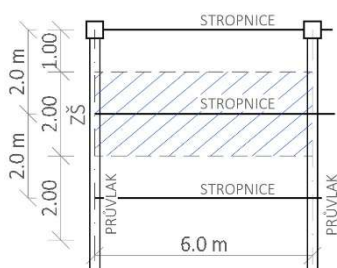


Položka	Plocha [m ²]	Plošná hmotnost [kg/m ²]	Hmotnost [kg]
Celé pole 3,7 x 6,0 m	22,2	-	
Plastové okno 2,0 x 4,4 m	8,2	37,6	308,32
Plocha pláště (zbylá plocha)	14,0	13,7	191,80
CELKOVÁ HMOTNOST			500,12 kg

PŘEPOČET NA LINIOVÉ ZATÍŽENÍ NA STROPNICE:

$$\frac{\text{hmotnost}}{\text{délka pole}} = \frac{500,12}{6,0} = 83,35 \text{ kg/m} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 817,7 \text{ N/m}$$

$$q_{k,op} = 0,818 \text{ kN/m}$$



2 UŽITNÁ ZATÍŽENÍ

2.1 STROPNÍ KONSTRUKCE

Dle ČSN EN 1991-1-1 užitné zatížení stropních konstrukcí pro plochy v administrativních budovách.

Kategorie B – kanceláře	$q_k = 3,0 \text{ kN/m}^2$
-------------------------	----------------------------

PŘEPOČET NA LINIOVÉ ZATÍŽENÍ NA STROPNICE:

$$3,0 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,0 \text{ m} = 6,00 \text{ kN/m}$$

2.2 STŘEŠNÍ KONSTRUKCE

Dle ČSN EN 1991-1-1 užitné zatížení střešních konstrukcí.

Kategorie H – střechy nepřístupné s výjimkou běžné údržby a oprav	$q_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$
---	----------------------------

PŘEPOČET NA LINIOVÉ ZATÍŽENÍ NA STROPNICE:

$$1,0 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,0 \text{ m} = 2,00 \text{ kN/m}$$

3 PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ

3.1 ZATÍŽENÍ SNĚHEM [ČSN EN 1991-1-3]

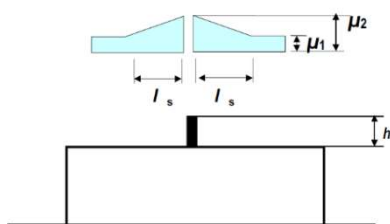
Lokalita	Brno
Sněhová oblast	I
Charakteristická hodnota	$S_k = 0,7 \text{ kPa}$
Součinitel expozice	$C_e = 1,0$
Tepelný součinitel	$C_t = 1,0$
Tvarový součinitel	$\mu_1 = 0,8$

3.1.1 SNÍH ROVNOMĚRNÝ

$$s_1 = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,7 = 0,56 \text{ kN/m}^2$$

ČSN EN 1991-1-3:2005/Z1:2006
MAPA SNĚHOVÝCH OBLASTÍ NA ÚZEMÍ ČR





3.1.2 NÁVĚJE SNĚHU U ATIKY

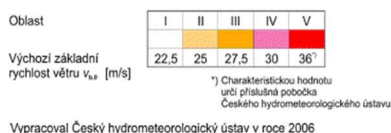
$$h_a = 0,6 \text{ m}$$

$$l_{s,a} = 2 \cdot h_a = 2 \cdot 0,6 = 1,2 \text{ m}$$

$$\mu_{2,a} = \gamma \cdot \frac{h_a}{s_k} = 2 \cdot \frac{0,6}{0,7} = 1,71$$

$$S_{2,a} = \mu_{2,a} \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k = 1,71 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,7 = 1,19 \text{ kN/m}^2$$

MAPA VĚTRNÝCH OBLASTÍ NA ÚZEMÍ ČR



3.2 ZATÍŽENÍ VĚTREM [ČSN EN 1991-1-4]

Lokalita	Brno
Větrná oblast	II
Základní rychlost větru	$v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$
Kategorie terénu	IV
Parametr drsnosti terénu	$z_0 = 1,0$
Minimální výška	$z_{\min} = 10 \text{ m}$

3.2.1 ZÁKLADNÍ RYCHLOST VĚTRU

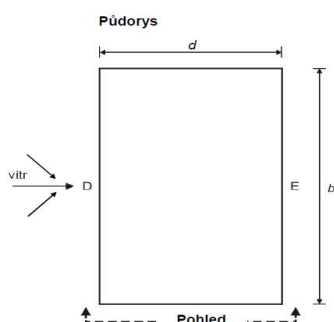
Součinitel směru větru	$C_{dir} = 1,0$
Součinitel ročního období	$C_{season} = 1,0$
$V_b = v_{b,0} \cdot C_{dir} \cdot C_{season} = 25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 25 \text{ m/s}$	

3.2.2 STŘEDNÍ RYCHLOST VĚTRU

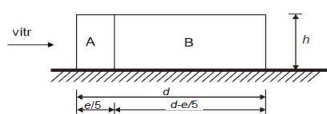
Součinitel orografie	$c_0(z) = 1,0$
Parametr drsnosti terénu	$z_{0,IV} = 1,0$
$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{1,0}{0,05}\right)^{0,07} = 0,234$	
$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,234 \cdot \ln\left(\frac{30,6}{1,0}\right) = 0,801$	
$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,801 \cdot 1,0 \cdot 25 = 20,03 \text{ m/s}$	



e je menší z hodnot b nebo $2h$
 b je rozměr kolmý na směr větru



Pohled pro $e \geq d$



$$e = \min \{b; 2h\} = \min \{54; 61,2\} = 54 \text{ m}$$

$$e/5 = 54/5 = 10,8 \text{ m}$$

$$d-e/5 = 15-10,8 = 4,0 \text{ m}$$

3.2.3 INTENZITA TURBULENCE

Součinitel turbulence $k_1 = 1,0$

$$I_v(z) = \frac{k_1}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{30,6}{1,0}\right)} = 0,292$$

3.2.4 MAXIMÁLNÍ DYNAMICKÝ TLAK

Měrná hmotnost vzduchu $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$

$$h = 30,6 \text{ m}; b = 54 \text{ m}$$

$h \leq b \Rightarrow$ výpočet dle $q_p(z) = q_p(z_e)$

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m(z)^2 = [1 + 7 \cdot 0,292] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 20,03^2 = 0,763 \text{ kN/m}^2$$

3.2.5 TLAK VĚTRU NA POVRCHY

$$W_e = q_p(z) \cdot C_{pe,10}$$

3.2.5.1 VÍTR PŘÍČNÝ (VE SMĚRU OSY Y)

3.2.5.1.1 STĚNY [TAB. 7.1]

$$h = 30,6 \text{ m}$$

$$e = 54 \geq d = 15 \text{ m}$$

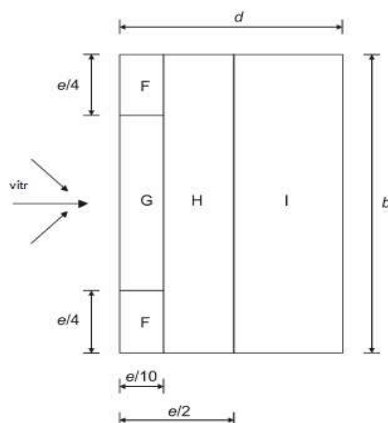
$$d = 15 \text{ m}$$

$$h/d = 30,6/15 = 2,04$$

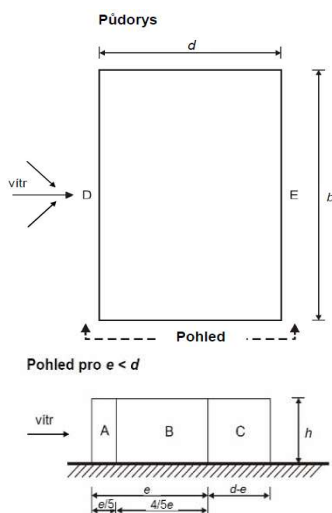
$$b = 54 \text{ m}$$

Plocha	$q_p(z)$ [kN/m ²]	$C_{pe,10}$	$W_{e,0}$ [kN/m ²]
A	0,763	- 1,20	- 0,916
B	0,763	- 0,96	- 0,732
D	0,763	+ 0,80	+ 0,610
E	0,763	- 0,55	- 0,420

e je menší z hodnot b nebo $2h$
 b je rozměr kolmý na směr větru



e je menší z hodnot b nebo $2h$
 b je rozměr kolmý na směr větru



$$e = \min \{b; 2h\} = \min \{15; 61,2\} = 15 \text{ m}$$

$$e/5 = 15/5 = 3,0 \text{ m}$$

$$4/5e = 4/5 \cdot 15 = 12,0 \text{ m}$$

$$d-e = 54-15 = 39,0 \text{ m}$$

3.2.5.1.2 STŘECHA [TAB. 7.2—S ATIKOU]

$$h = 30,6 \text{ m}$$

$$h_a/h = 0,60/30,6 = 0,027$$

$$h_a = 0,60 \text{ m}$$

Plocha	$q_p(z)$ [kN/m ²]	$c_{pe,10}$	$W_{e,0}$ [kN/m ²]
F	0,763	- 1,58	- 1,206
G	0,763	- 1,08	- 0,824
H	0,763	- 0,70	- 0,534
I	0,763	$\pm 0,80$	$\pm 0,153$

3.2.5.2 VÍTR PODÉLNÝ (VE SMĚRU OSY X)

3.2.5.2.1 STĚNY [TAB. 7.1]

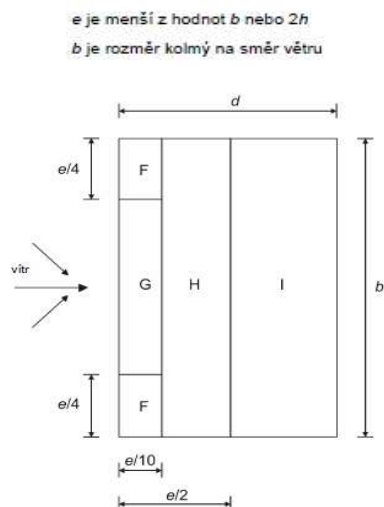
$$h = 30,6 \text{ m}$$

$$h/d = 30,6/54 = 0,567$$

$$d = 54 \text{ m}$$

$$b = 15 \text{ m}$$

Plocha	$q_p(z)$ [kN/m ²]	$c_{pe,10}$	$W_{e,90}$ [kN/m ²]
A	0,763	- 1,20	- 0,916
B	0,763	- 1,46	- 1,114
C	0,763	- 0,50	- 0,382
D	0,763	+ 0,80	+ 0,610
E	0,763	- 0,48	- 0,366



3.2.5.2.2 STŘECHA [TAB. 7.2—S ATIKOU]

$$h = 30,6 \text{ m}$$

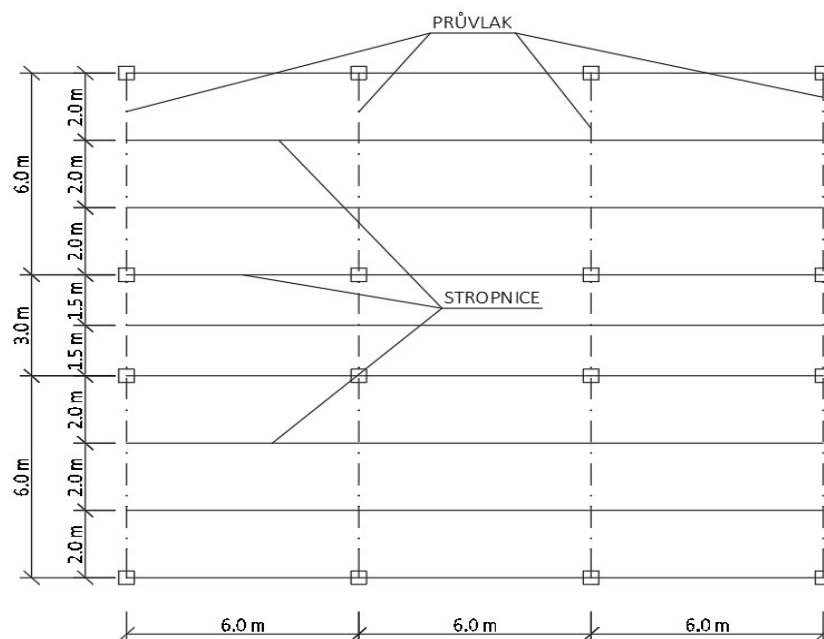
$$h_a/h = 0,60/30,6 = 0,027$$

$$h_a = 0,60 \text{ m}$$

Plocha	$q_p(z)$ [kN/m ²]	$c_{pe,10}$	$W_{e,0}$ [kN/m ²]
F	0,763	- 1,58	- 1,206
G	0,763	- 1,08	- 0,824
H	0,763	- 0,70	- 0,534
I	0,763	$\pm 0,80$	$\pm 0,153$

4 STROPNICE

4.1 GEOMETRIE

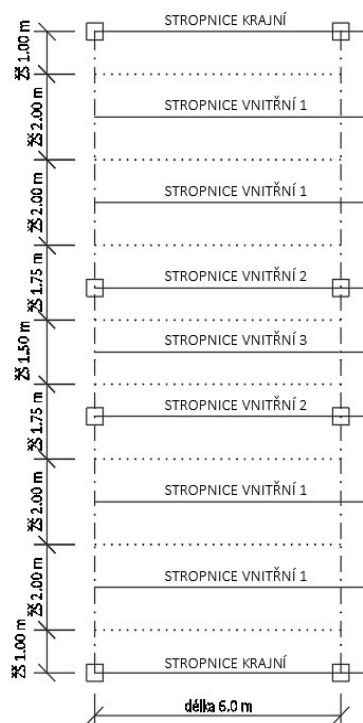


Osová vzdálenost stropnic

2,0 m a 1,5 m

Délka stropnic

6,0 m



4.2 VÝPOČTOVÝ MODEL

Stropnice uvažovány jako stropní nosník podepřeny průvlaky.

Prvek	Zatěžovací šířka [m]	Délka prvku [m]
Stropnice vnitřní 1	2,00	6,00
Stropnice vnitřní 2	1,50	6,00
Stropnice vnitřní 3	1,75	6,00
Stropnice krajní	1,00	6,00

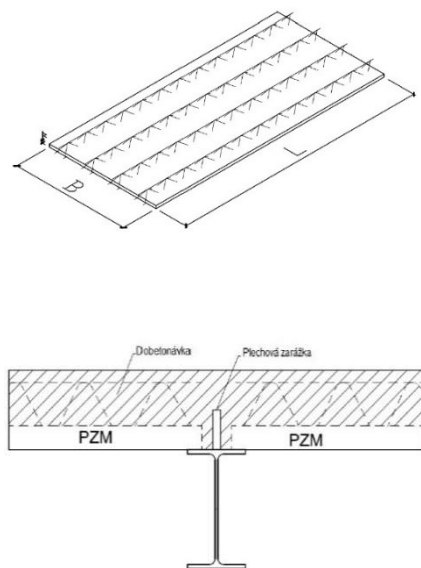
4.3 NÁVRH A POSOUZENÍ VARIANTY A

VAR A – Stropnice uvažována jako prostý nosník o délce 6,0 m. Nosná konstrukce stropu je navrhována jako prefabrikovaná. Pro posouzení je brána stropnice vnitřní se zatěžovací šířkou 2,0 m.

4.3.1 ZATÍŽENÍ

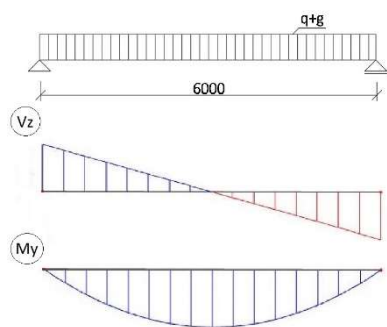
Stropní konstrukce – FILIGRÁN PZM (Prefa produkt) – PZM 205/824 –

$h = 60 \text{ mm}$, výška stropní tabule $H = 200 \text{ mm}$.



Stálé zatížení	Plošné zat. [kN/m ²]	ZŠ [m]	Zat. g_k [kN/m]	γ_G	Zat. g_d [kN/m]
Podlaha z keram. dlažby	1,23	2,0	2,45	1,35	3,31
PZM 205/824	5,00	2,0	10,00	1,35	13,50
SDK podhled	0,18	2,0	0,35	1,35	0,47
CELKEM	6,40		12,80		17,28

Užitné zatížení	Plošné zat. [kN/m ²]	ZŠ [m]	Zat. q_k [kN/m]	γ_Q	Zat. q_d [kN/m]
Kanceláře – B	3,00	2,0	6,00	1,5	9,00
Přemístitelné příčky	0,50	2,0	1,00	1,5	1,50
CELKEM	3,50		7,00		10,50



4.3.2 VNITŘNÍ SÍLY

$$V_z = \frac{1}{2} \cdot (g_d + g_d) \cdot L = \frac{1}{2} \cdot (17,28 + 10,50) \cdot 6,0 = 83,34 \text{ kN}$$

$$M_y = \frac{1}{8} \cdot (g_d + q_d) \cdot L^2 = \frac{1}{8} \cdot (17,28 + 10,50) \cdot 6,0^2 = 125,01 \text{ kNm}$$

4.3.3 MATERIÁL

$$f_{yk} = 355 \text{ MPa}$$

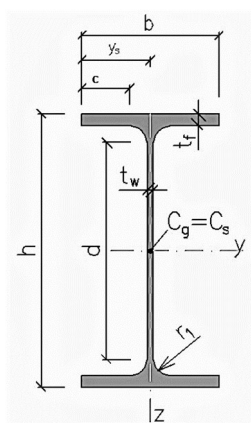
$$\gamma_{M0} = 1,0 [-]$$

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_{M0} = 355 / 1,0 = 355 \text{ MPa}$$

$$E_a = 210\,000 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon = (235/f_y)^{1/2} = (235/355)^{1/2} = 0,81 [-]$$

4.3.4 PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY



IPE 240

$$h = 240 \text{ mm}$$

$$b = 120 \text{ mm}$$

$$t_f = 9,8 \text{ mm}$$

$$t_w = 6,2 \text{ mm}$$

$$r_1 = 15 \text{ mm}$$

$$y_s = 60 \text{ mm}$$

$$d = 190,4$$

$$g = 30,7 \text{ kg/m}$$

A [m ²]	3,9100e-03	Wely [m ³]	3,2400e-04
Ay [m ²]	2,4315e-03	Welz [m ³]	4,7300e-05
Az [m ²]	1,5295e-03	Wply [m ³]	3,6700e-04
AL [m ² /m]	9,2173e-01	Wplz [m ³]	7,3900e-05
AD [m ² /m]	9,2173e-01	Mply+ [Nm]	8,62e+04
cYUSS [mm]	60	Mply- [Nm]	8,62e+04
cZUSS [mm]	120	Mplz+ [Nm]	1,74e+04
α [deg]	0,00	Mplz- [Nm]	1,74e+04
Iy [m ⁴]	3,8920e-05	dy [mm]	0
Iz [m ⁴]	2,8400e-06	dz [mm]	0
iy [mm]	100	It [m ⁴]	1,2900e-07
iz [mm]	27	Iw [m ⁶]	3,7400e-08

Zatřídění průřezu:

$$\text{stojina: } d/t_w = 190,4/6,2 = 30,7 < 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 1 = 72 \Rightarrow \text{Třída 1}$$

$$\text{pásnice: } c/t_f = 45/9,8 = 4,59 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1 = 9 \Rightarrow \text{Třída 1}$$

4.3.5 POSOUZENÍ NA OHYB

$$M_{y,Ed} = 121,94 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3,67 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 130,29 \text{ kNm}$$

Podmínka:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{121,94}{130,29} = 0,94 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

4.3.6 POSOUZENÍ STROPNICE NA OHYB S KLOPENÍM

Parametry klopení:

Souřadnice aplikovaného zatížení

$$z_g = z_a - z_s = 120 - 0 = 120 \text{ mm}$$

Parametr symetrie

$$\xi_j = \frac{\pi \cdot z_j}{k_z \cdot l} \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = 0$$

Parametr aplikovaného zatížení

$$\xi_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot l} \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot 0,12}{1,0 \cdot 6,0} \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 2,84 \cdot 10^{-6}}{80,8 \cdot 10^9 \cdot 1,29 \cdot 10^{-7}}} = 0,475$$

Parametr kroucení

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot l} \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 6,0} \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 3,74 \cdot 10^{-8}}{80,8 \cdot 10^9 \cdot 1,29 \cdot 10^{-7}}} = 0,455$$

Součinitelé zatížení a podmínky koncových výztuh

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) = 1,13 + (1,13 - 1,13) = 1,13$$

$$C_2 = 0,46$$

$$C_3 = 0,53$$

- pro kloubové uložení a parabolický průběh momentů bez výztuh bránící klopení

Relativní kritický moment

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \left(\sqrt{1 + k_{wt}^2 + (C_2 \cdot \xi_g - C_3 \cdot \xi_j)^2} - (C_2 \cdot \xi_g - C_3 \cdot \xi_j) \right)$$

$$\mu_{cr} = \frac{1,13}{1} (\sqrt{1 + 0,455^2 + (0,46 \cdot 0,475 - 0,53 \cdot 0)^2} - (0,46 \cdot 0,475 - 0,53 \cdot 0)) = 1,02$$

Kritický moment

$$M_{cr} = \frac{\mu_{cr} \cdot \pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{l} = \frac{1,02 \pi \cdot \sqrt{210 \cdot 10^9 \cdot 2,84 \cdot 10^{-6} \cdot 80,8 \cdot 10^9 \cdot 1,29 \cdot 10^{-7}}}{6,0} =$$

$$= 42,12 \text{ kNm}$$

Srovnávací štíhlost

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{3,67 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^6}{42,12 \cdot 10^3}} = 1,76$$

Parametr klopení

$$\varphi = 0,5 \cdot [1 + \alpha_1 \cdot (\lambda_{LT}^2 - 0,2) + \lambda_{LT}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21(1,76^2 - 0,2) + 1,76^2] =$$

$$= 1,71$$

Redukční součinitel

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda_{LT}^2}} = \frac{1}{1,71 + \sqrt{1,71^2 - 1,76^2}} = 0,24 \leq 1,0$$

POSOUZENÍ:

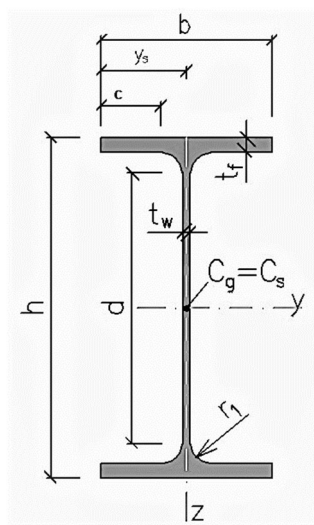
Podmínka $M_{Sd} \leq M_{b,Rd}$

$$M_{Sd} = M_{y,Ed} = 121,94 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,24 \cdot \frac{3,64 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 31,27 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{121,94}{31,27} = 3,90 \not\leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{NEVYHOVUJE}$$

=> návrh nového průřezu

**IPE 330**

h = 330 mm

b = 160 mm

t_f = 11,5 mmt_w = 7,5 mmr₁ = 18 mmy_s = 80 mm

d = 271 mm

G = 49,1 kg/m

A [m ²]	6,2600e-03	W _{ely} [m ³]	7,1300e-04
A _y [m ²]	3,7139e-03	W _{elz} [m ³]	9,8500e-05
A _z [m ²]	2,5380e-03	W _{ply} [m ³]	8,0400e-04
AL [m ² /m]	1,2540e+00	W _{plz} [m ³]	1,5400e-04
AD [m ² /m]	1,2540e+00	M _{ply+} [Nm]	2,86e+05
c _{YUSS} [mm]	80	M _{ply-} [Nm]	2,86e+05
c _{ZUSS} [mm]	165	M _{plz+} [Nm]	5,46e+04
α [deg]	0,00	M _{plz-} [Nm]	5,46e+04
I _y [m ⁴]	1,1770e-04	d _y [mm]	0
I _z [m ⁴]	7,8800e-06	d _z [mm]	0
i _y [mm]	137	I _t [m ⁴]	2,8200e-07
i _z [mm]	35	I _w [m ⁶]	1,9900e-07

Zatřídění průřezu:

stojina: $d/t_w = 271/7,5 = 36,133$ $< 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 1 = 72 \Rightarrow$

\Rightarrow Třída 1

pásnice: $c/t_f = 62/11,5 = 5,39$ $< 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1 = 9 \Rightarrow$

\Rightarrow Třída 1

NOVÉ POSOUZENÍ STROPNICE NA OHYB S KLOPENÍM**Parametry klopení:****Souřadnice aplikovaného zatížení**

$$z_g = z_a - z_s = 165 - 0 = 165 \text{ mm}$$

Parametr symetrie

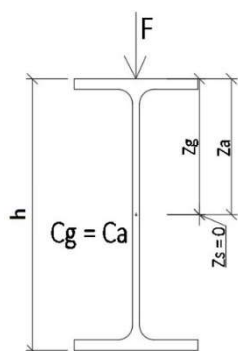
$$\xi_j = \frac{\pi \cdot z_j}{k_z \cdot l} \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = 0$$

Parametr aplikovaného zatížení

$$\xi_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot l} \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot 0,165}{1,0 \cdot 6,0} \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 7,88 \cdot 10^{-6}}{80,8 \cdot 10^9 \cdot 2,82 \cdot 10^{-7}}} = 0,735$$

Parametr kroucení

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot l} \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 6,0} \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 1,99 \cdot 10^{-7}}{80,8 \cdot 10^9 \cdot 2,82 \cdot 10^{-7}}} = 0,708$$



Součinitelé zatížení a podmínky koncových výztuh

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) = 1,13 + (1,13 - 1,13) = 1,13$$

$$C_2 = 0,46$$

$$C_3 = 0,53$$

- pro kloubové uložení a parabolický průběh momentů bez výztuh bránící klopení

Relativní kritický moment

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \left(\sqrt{1 + k_{wt}^2 + (C_2 \cdot \xi_g - C_3 \cdot \xi_j)^2} - (C_2 \cdot \xi_g - C_3 \cdot \xi_j) \right) =$$

$$\begin{aligned} \mu_{cr} &= \frac{1,13}{1} (\sqrt{1 + 0,455^2 + (0,46 \cdot 0,475 - 0,53 \cdot 0)^2} - (0,46 \cdot 0,475 - 0,53 \cdot 0)) = \\ &= 1,01 \end{aligned}$$

Kritický moment

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \frac{\mu_{cr} \cdot \pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{l} = \frac{1,02 \pi \cdot \sqrt{210 \cdot 10^9 \cdot 7,88 \cdot 10^{-6} \cdot 80,8 \cdot 10^9 \cdot 2,82 \cdot 10^{-7}}}{6,0} = \\ &= 111,796 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Srovnávací štíhlost

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{ply} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{8,04 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^6}{111,796 \cdot 10^3}} = 1,598$$

Parametr klopení

$$\varphi = 0,5 \cdot [1 + \alpha_1 \cdot (\lambda_{LT} - 0,2) + \lambda_{LT}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21(1,598 - 0,2) + 1,598^2] = 1,923$$

Redukční součinitel

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\varphi + \sqrt{\varphi^2 - \lambda_{LT}^2}} = \frac{1}{1,923 + \sqrt{1,923^2 - 1,598^2}} = 0,434 \leq 1,0$$

POSOUZENÍ:

Podmínka $M_{Sd} \leq M_{b,Rd}$

$$M_{Sd} = M_{y,Ed} = 125,01 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \frac{W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,434 \cdot \frac{8,04 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 127,34 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{125,01}{127,34} = 0,98 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

4.3.7 POSOUZENÍ NA SMYK

$$V_{Ed} = 83,34 \text{ kN}$$

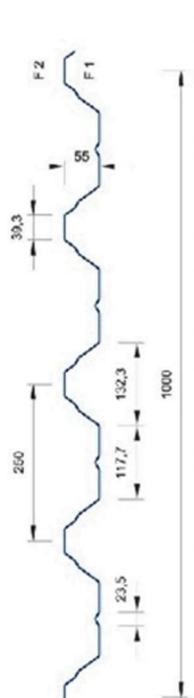
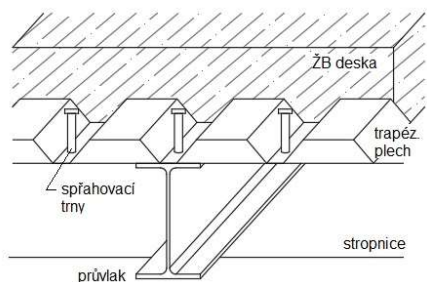
$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{Mo}} = \frac{3,7139 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{355000}{\sqrt{3}}}{1,0} = 761,20 \text{ kN}$$

POSOUZENÍ:

Podmínka $V_{Ed} \leq V_{c,Rd}$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{83,34}{761,20} = 0,12 \leq 1,0 \quad \Rightarrow$$

VYHOVUJE



4.4 NÁVRH A POSOUZENÍ VARIANTY B

VAR B – stropnice bude spřažena spolu s trapézovým plechem TR55/250 a betonovou deskou C25/30.

4.4.1 POSOUZENÍ TRAPÉZOVÉHO PLECHU

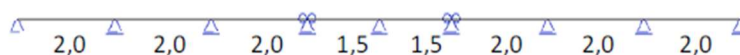
4.4.1.1 GEOMETRIE A MATERIÁL

Trapézový plech TR55/250 tloušťky 1 mm, ocel S320G

Výška profilu plechu	h_p [mm]	55
Délka vlny	b_v [mm]	250
Plocha průřezu	A_g [mm ²]	$1,217 \cdot 10^{-3}$
Efektivní modul průřezu (kladný)	W_{y,eff^+} [mm ³]	$1,530 \cdot 10^{-5}$
Efektivní modul průřezu (záporný)	W_{y,eff^-} [mm ³]	$1,550 \cdot 10^{-5}$
Efekt. moment setrvačnosti (kladný)	I_{y,eff^+} [mm ⁴]	$5,320 \cdot 10^{-7}$
Efekt. moment setrvačnosti (záporný)	I_{y,eff^-} [mm ⁴]	$5,140 \cdot 10^{-7}$

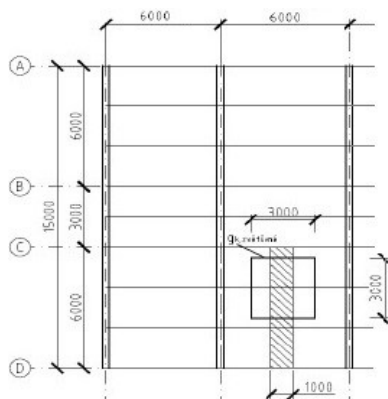
Statické schéma:

Montážní sta (fáze 1)



Provozní stav (fáze 2) (spojitý nosník)





4.4.1.2 ZATÍŽENÍ

4.4.1.2.1 PŘI MONTÁŽI (FÁZE 1)

Stálé [ZŠ = 1 m]	g_k [kN/m]	γ_g	g_d [kN/m]
Deska – čerstvý beton	2,181	1,35	2,945
Trapézový plech	0,098	1,35	0,132
CELKEM	2,279		3,007

Proměnné [ZŠ = 1 m]	q_k [kN/m]	γ_q	q_d [kN/m]
Soustředné na ploše 3x3 m	1,500	1,5	2,250
Rovnoměrné na zbylé ploše	0,750	1,5	1,125

4.4.1.2.2 PŘI PROVOZU (FÁZE 2)

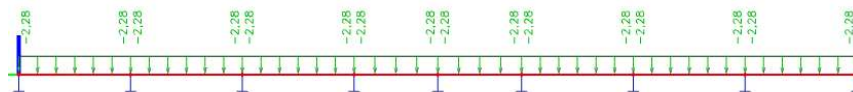
Stálé [ZŠ = 1 m]	g_k [kN/m]	γ_g	g_d [kN/m]
Deska – čerstvý beton	2,098	1,35	2,832
Trapézový plech	0,098	1,35	0,132
Podlaha + podhled	1,401	1,35	1,891
CELKEM	3,597		4,855

Proměnné [ZŠ = 1 m]	q_k [kN/m]	γ_q	q_d [kN/m]
Užitné – kanceláře (B)	3,00	1,5	4,50
Přemístitelné příčky	0,50	1,5	0,75

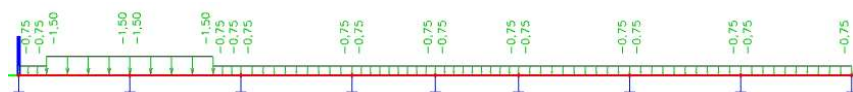
4.4.1.3 VNITŘNÍ SÍLY

4.4.1.3.1 MONTÁŽNÍ STAV (FÁZE 1)

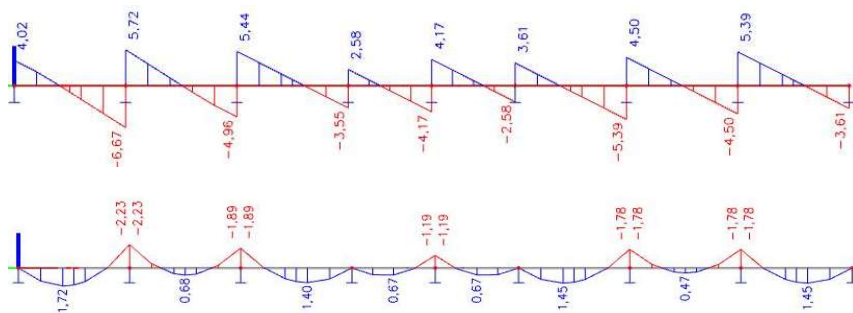
ZS1 Stálé



ZS2 Proměnné



Výsledné posouvající síly a ohybové momenty



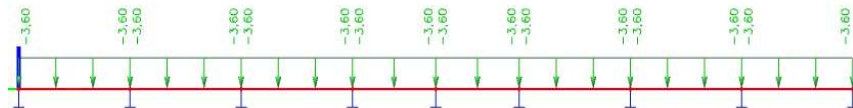
$$V_{Ed,max} = |6,67| \text{ kN}$$

$$M_{Ed,pole} = 1,72 \text{ kNm}$$

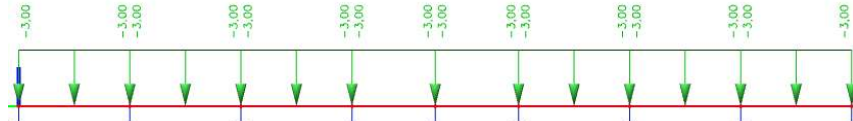
$$M_{Ed,podpora} = -2,23 \text{ kNm}$$

4.4.1.3.2 PROVOZNÍ STAV (FÁZE 2)

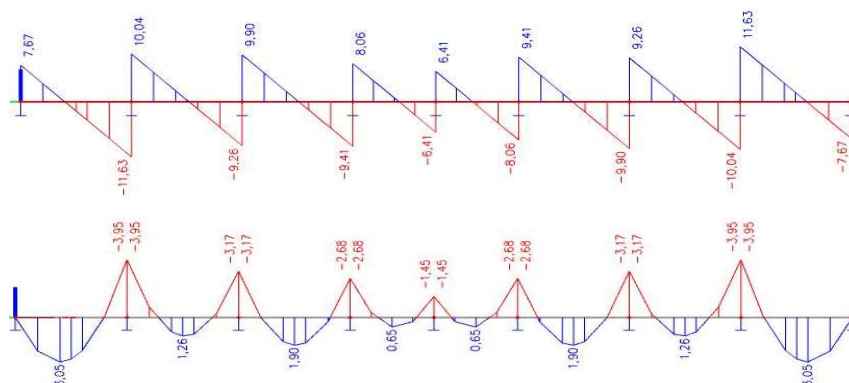
ZS1 Stálé



ZS2 Proměnné



Výsledné posouvající síly a ohybové momenty



$$V_{Ed,max} = |11,63| \text{ kN}$$

$$M_{Ed,pole} = 3,05 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,podpora} = -3,95 \text{ kNm}$$

4.4.1.4 POSOUZENÍ ÚNOSNOSTI – MSÚ

4.4.1.4.1 MONTÁŽNÍ STAV (FÁZE 1)

POSOUZENÍ V POLI:

$$M_{Rd}^+ = \frac{W_{y,eff}^+ \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{1,53 \cdot 10^{-5} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 5,43 \text{ kNm}$$

$$\text{Podmínka} \quad M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

$$\frac{M_{Ed,pole}}{M_{Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{1,72}{5,43} = 0,32 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

POSOUZENÍ V PODPOŘE:

$$M_{Rd}^- = \frac{W_{y,eff}^- \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{1,55 \cdot 10^{-5} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 5,50 \text{ kNm}$$

$$\text{Podmínka} \quad M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

$$\frac{M_{Ed,podpora}}{M_{Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{2,23}{5,50} = 0,41 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

4.4.1.4.2 PROVOZNÍ STAV (FÁZE 2)

Návrh výztuže betonové desky: Ø 6 á 100 mm

Celková výška desky	h [mm]	120
Průměr výztuže	Ø [mm]	6
Plocha výztuže	A_s [m ²]	$2,830 \cdot 10^{-4}$
Plocha betonu	A_c [m ²]	0,020969
Plocha plechu	A_g [m ²]	$1,217 \cdot 10^{-3}$

Krytí výztuže

$c_{min,b}$ [mm]	6
$c_{min,dur}$ [mm]	15
$\Delta c_{dur,y}$; $\Delta c_{dur,st}$; $\Delta c_{dur,add}$ [mm] (doporučená hodnota)	0
Δc_{dev} [mm]	10

$$c_{min} = \max \{c_{min,b} ; \Delta c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add} ; 10\} \text{ mm}$$

$$c_{min} = \max \{6 ; 15 ; 10\} \text{ mm} \Rightarrow c_{min} = 15 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 15 + 10 = 25 \text{ mm}$$

Kontrola plochy výztuže (na 1mb)

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d = 0,26 \cdot \frac{2,6}{500} \cdot 1 \cdot 25 = 0,34 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = 0,0013 \cdot b_t \cdot d = 0,0013 \cdot 1 \cdot 25 = 0,33 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} < A_s$$

$$0,34 \cdot 10^{-4} < 2,83 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,020969 = 8,39 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} > A_s$$

$$8,39 \cdot 10^{-4} > 2,83 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

POSOUZENÍ V POLI:

Podmínka rovnováhy sil na 1mb

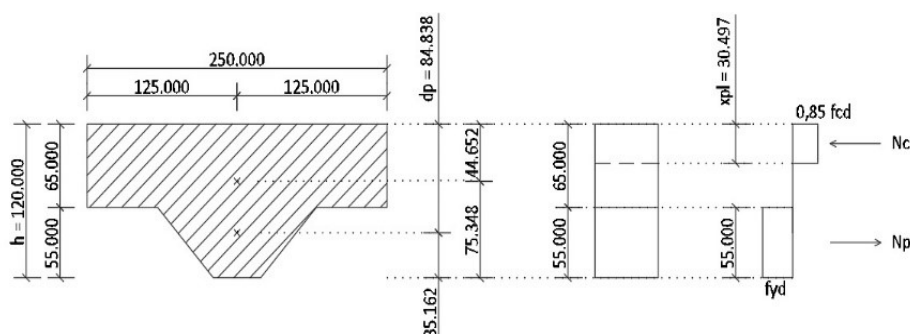
$$d_p = h - z_p = 120 - 35,162 = 84,838 \text{ mm}$$

$$N_p = N_c = A_g \cdot f_{yd} = 1,217 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 432,035 \text{ kN}$$

$$x_{pl} = \frac{N_p}{b \cdot 0,85 \cdot f_{cd}} = \frac{432,035 \cdot 10^6}{1 \cdot 0,85 \cdot 16,67 \cdot 10^6} = 30,497 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = N_c \cdot (d_p - 0,5 \cdot x_{pl}) = 432,035 \cdot (84,838 - 0,5 \cdot 30,497) =$$

$$= 30,065 \text{ kNm}$$



Podmínka

$$M_{Ed,pole} \leq M_{Rd}$$

$$\frac{M_{Ed,pole}}{M_{Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{3,05}{30,065} = 0,11 \leq 1,0$$

=> VYHOVUJE

POSOUZENÍ V PODPOŘE:

Podmínka rovnováhy sil na 1mb

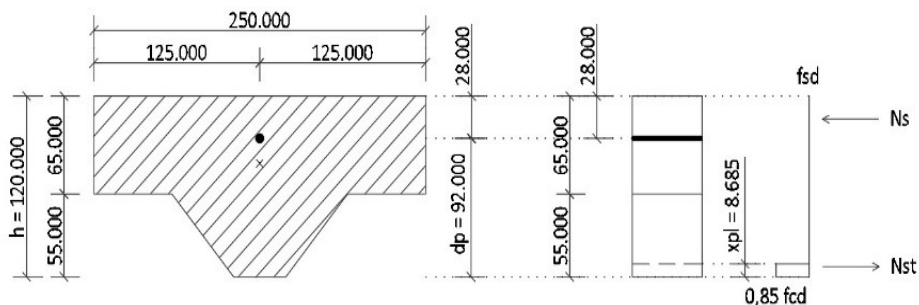
$$d_p = h - c - (\emptyset/2) = 120 - 25 - (6/2) = 92 \text{ mm}$$

$$N_{st} = N_s = A_s \cdot f_{sd} = 2,83 \cdot 10^{-3} \cdot 434,78 \cdot 10^{-3} = 123,043 \text{ kN}$$

$$x_{pl} = \frac{N_{st}}{b \cdot 0,85 \cdot f_{cd}} = \frac{123,043 \cdot 10^6}{1 \cdot 0,85 \cdot 16,67 \cdot 10^6} = 8,685 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = N_{st} \cdot (d_p - 0,5 \cdot x_{pl}) = 123,043 \cdot (92 - 0,5 \cdot 8,685) =$$

$$= 10,786 \text{ kNm}$$



Podmínka

$$M_{Ed, \text{podpora}} \leq M_{Rd}$$

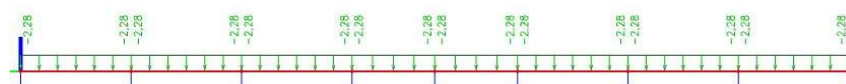
$$\frac{M_{Ed, \text{podpora}}}{M_{Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{3,95}{10,786} = 0,37 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

4.4.1.5 POSOUZENÍ POUŽITELNOSTI – MSP

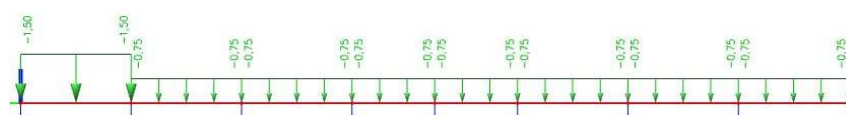
4.4.1.5.1 ZATÍŽENÍ

Působí pouze čerstvý beton; $L = 2,0 \text{ m}$

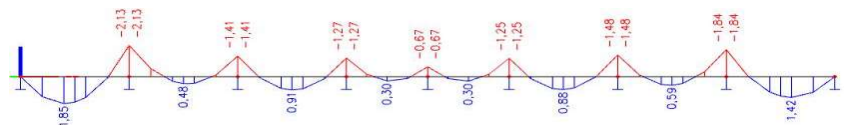
ZS1 Stálé



ZS2 Proměnné (pro krajní pole)



Výsledné momenty



Maximální momenty

$$M_{Ed, \text{pole}} = 1,85 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed, \text{podpora}} = -2,13 \text{ kNm}$$

PRŮHYB V POLI:

$$\delta = \frac{1}{E \cdot I_{\text{eff}}} \cdot \left(\frac{5}{384} \cdot g_k \cdot L^4 + \frac{1}{16} \cdot M_{b,k} \cdot L^2 \right)$$

$$\delta = \frac{1}{210 \cdot 10^6 \cdot 5,14 \cdot 10^{-7}} \cdot \left(\frac{5}{384} \cdot 2,279 \cdot 2^4 + \frac{1}{16} \cdot 1,85 \cdot 2^2 \right) = 8,684 \text{ mm}$$

dovolený průhyb $\frac{h}{10} = \frac{120}{10} = 12 \text{ mm}$

Podmínka $\delta \leq (h/10)$

$$8,684 \text{ mm} \leq 12 \text{ mm} \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Není nutné uvažovat rybníkový efekt

4.4.2 POSOUZENÍ STROPNICE

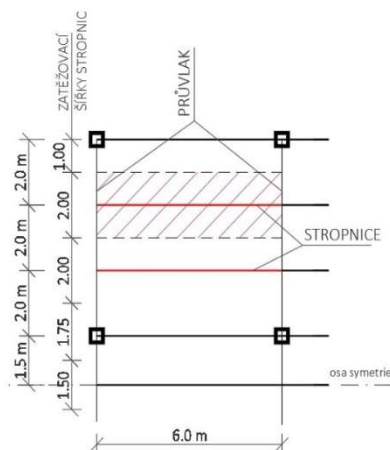
4.4.2.1 GEOMETRIE A MATERIÁL

Stropnice

Délka	L [m]	6,00
Osová vzdálenost = zatěžovací šířka	ZŠ [m]	2,00

Ocel S355

Mez kluzu – charakteristická	$f_{y,k}$ [MPa]	355
Mez kluzu – návrhová	$f_{y,d} = f_{y,k} / \gamma_M$ [MPa]	355
Pevnost v tahu ($t \leq 40 \text{ mm}$)	f_u [MPa]	510
Pevnost v tahu ($40 < t \leq 100 \text{ mm}$)	f_u [MPa]	490
Modul pružnosti v tlaku	E_a [MPa]	210 000
Modul pružnosti ve smyku	G_a [MPa]	81 000
Objemová hmotnost	ρ [kg/ m ³]	7850
Součinitel spolehlivosti materiálu	γ_M	1,0
Součinitel příčné deformace	ν	0,3
Součinitel	$\varepsilon = (235/f_y)^{1/2}$	0,81



Beton C25/30

Pevnost v tlaku – charakteristická	$f_{c,k}$ [MPa]	25
Pevnost v tlaku – návrhová	$f_{c,d} = f_{c,k}/\gamma_M$ [MPa]	16,67
Pevnost v tlaku	f_{cm} [MPa]	33
Střední pevnost v tahu	f_{ctm} [MPa]	2,6
Pevnost v tahu (dolní hodnota)	$f_{ctk, 0,05}$ [MPa]	1,8
Modul pružnosti	E_{cm} [MPa]	31 000
Objemová hmotnost – čerstvý beton	ρ_1 [kg/ m ³]	2 600
Objemová hmotnost – ztvrdlý beton	ρ [kg/ m ³]	2 500
Součinitel spolehlivosti materiálu	γ_M	1,5
Přetvoření betonu	ϵ_{cu1} [‰]	3,5

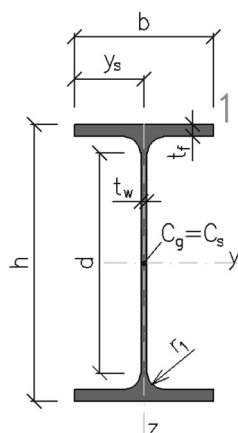
Ocel B500B

Mez kluzu – charakteristická	$f_{s,k}$ [MPa]	500
Mez kluzu – návrhová	$f_{s,d} = f_{s,k}/\gamma_s$ [MPa]	437,78
Pevnost v tahu	$f_{t,k}$ [MPa]	550
Součinitel spolehlivosti materiálu	γ_s	1,15

4.4.2.2 ZATÍŽENÍ

Stálé	g_k [kN/m ²]	ZŠ [m]	g_k [kN/m]	γ_G	g_d [kN/m]
FÁZE 1 vl. tíha stropnice			0,262	1,35	0,354
deska – čerstvý beton	2,181	2,000	4,363	1,35	5,890
trapézový plech	0,098	2,000	0,196	1,35	0,265
CELKEM		$g_{k,1,1} =$	4,821	$g_{d,1,1} =$	6,508
FÁZE 2 vl. tíha stropnice			0,262	1,35	0,354
deska – ztvrdlý beton	2,098	2,000	4,195	1,35	5,663
trapézový plech	0,098	2,000	0,196	1,35	0,265
CELKEM		$g_{k,1,2} =$	4,653	$g_{d,1,2} =$	6,282
FÁZE 2 Podlaha + podhled	1,401	2,000	2,802	1,35	3,783
CELKEM		$g_{k,2} =$	2,802	$g_{d,2} =$	3,783

Proměnné	g_k [kN/m ²]	ZŠ [m]	g_k [kN/m]	γ_Q	g_d [kN/m]
FÁZE 2 Užitné (kancl. B)	3,00	2,00	6,00	1,50	9,00
Příčky	0,50	2,00	1,00	1,50	1,50
CELKEM		$q_k =$	7,00	$q_d =$	10,50



4.4.2.3 PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

IPE 220 $h_a = 220 \text{ mm}$ $b = 110 \text{ mm}$ $t_f = 9,2 \text{ mm}$ $t_w = 5,9 \text{ mm}$ $r_1 = 12 \text{ mm}$ $y_s = 55 \text{ mm}$ $d = 177,6 \text{ mm}$ $g = 0,262 \text{ kN/m}$

A [m ²]	3,3400e-03	W _{ely} [m ³]	2,5200e-04
A _y [m ²]	2,0643e-03	W _{elz} [m ³]	3,7300e-05
A _z [m ²]	1,3244e-03	W _{ply} [m ³]	2,8500e-04
AL [m ² /m]	8,4750e-01	W _{plz} [m ³]	5,8100e-05
AD [m ² /m]	8,4750e-01	M _{ply+} [Nm]	6,71e+04
cYUSS [mm]	55	M _{ply-} [Nm]	6,71e+04
cZUSS [mm]	110	M _{plz+} [Nm]	1,37e+04
α [deg]	0,00	M _{plz-} [Nm]	1,37e+04
I _y [m ⁴]	2,7720e-05	dy [mm]	0
I _z [m ⁴]	2,0500e-06	dz [mm]	0
i _y [mm]	91	I _t [m ⁴]	9,0700e-08
i _z [mm]	25	I _w [m ⁶]	2,2700e-08

4.4.2.4 VNITŘNÍ SÍLY

Hodnoty z výpočtového softwaru SCIA Engineering.

Vnitřní síly na prutu STROPNICE délka L = 6 m

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní

Výběr : Vše

Třída : RC1_kombinace

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	V _y [kN]	V _z [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
N285	StropniceHlavní - IPE220	3,000	CO5/1	-410,47	-0,47	-0,22	0,00	49,87	0,28
N286	StropniceHlavní - IPE220	3,000	CO20/2	391,99	-0,44	-0,22	0,00	85,31	0,24
N274	StropniceHlavní - IPE220	0,000	CO19/3	-42,38	-1,43	56,66	0,00	0,00	3,57
N306	StropniceHlavní - IPE220	3,000	CO19/3	-42,38	1,43	-0,22	0,00	85,31	-0,71
VP1	StropniceBezna - IPE220	6,000	CO2/4	0,10	-0,01	-64,35	0,03	0,00	-0,02
VP1	StropniceBezna - IPE220	0,000	CO2/4	0,10	-0,01	64,35	0,03	0,00	0,02
VP356	StropniceBezna - IPE220	0,000	CO24/8	-0,10	0,01	54,37	-0,52	0,00	-0,03
VP360	StropniceBezna - IPE220	0,000	CO24/8	-0,10	-0,01	54,37	0,52	0,00	0,03
N129	StropniceHlavní - IPE220	0,000	CO5/1	-12,28	-0,28	33,03	0,00	0,00	0,71
VP1	StropniceBezna - IPE220	3,000	CO2/4	0,10	-0,01	0,00	0,03	96,52	0,00
VP182	StropniceBezna - IPE220	6,000	CO5/1	36,27	-1,38	-37,35	-0,01	0,00	-4,33
VP182	StropniceBezna - IPE220	0,000	CO5/1	36,27	-1,38	37,35	-0,01	0,00	3,95

Posouvající síla $V_{z,Ed} = 64,35 \text{ kN}$ (fáze 2)Ohybový moment $M_{y,Ed} = 96,52 \text{ kNm}$ (fáze 2)

Kontrola výpočtem (pro fázi 2)

$$V_z = \frac{1}{2}(g_{d,1,2} + g_{d,2} + q_d) \cdot L = \frac{1}{2}(6,282 + 3,783 + 10,50) \cdot 6 = 61,70 \text{ kN}$$

$$M_y = \frac{1}{8}(g_{d,1,2} + g_{d,2} + q_d) \cdot L^2 = \frac{1}{8}(6,282 + 3,783 + 10,50) \cdot 6^2 = 92,54 \text{ kNm}$$

4.4.2.5 POSOUZENÍ ÚNOSNOSTI – MSÚ

4.4.2.5.1 POSOUZENÍ NA OHYB

Fáze 1 – montáž

$$M_{Ed,1} = \frac{1}{8} \cdot g_{d,1,1} \cdot L^2 = \frac{1}{8} \cdot 6,508 \cdot 6,0^2 = 29,686 \text{ kNm}$$

Fáze 2 – provoz

$$M_{Ed,2} = 96,52 \text{ kNm}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_{yd}}{\gamma_{Mo}} = \frac{2,85 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 101,175 \text{ kN}$$

POSOUZENÍ:

Podmínka

$$M_{Ed} < M_{c,Rd}$$

$$\text{Fáze 1: } \frac{M_{Ed,1}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{29,686}{101,175} = 0,29 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\text{Fáze 2: } \frac{M_{Ed,2}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{96,52}{101,175} = 0,95 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Efektivní šířky:

$$b_{e1} = b_{e2} = \min \{1/8 L_e; 1/2 b_c\} \text{ pro vnitřní desku}$$

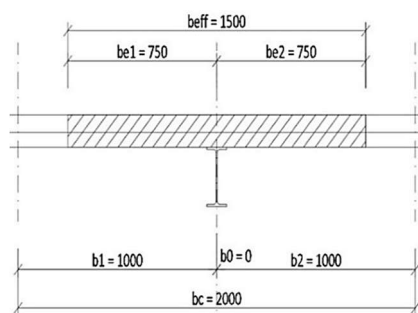
$$b_{e1} = b_{e2} = \min \{1/8 \cdot 6000; 1/2 \cdot 2000\} = \min \{750; 1000\} \text{ mm}$$

$$b_{e1} = b_{e2} = 750 \text{ mm}$$

$$\beta_i = [0,55 + 0,025 \cdot (L_e/b_{ei})] = [0,55 + 0,025 \cdot (6000/750)] = 0,75 < 1,0$$

$$b_{eff,0} = b_0 + \Sigma (\beta_i \cdot b_{ei}) = 0 + 0,75 \cdot (750 + 750) = 1125 \text{ mm}$$

$$b_{eff,1} = b_{eff,2} = b_0 + \Sigma b_{ei} = 0 + (750 + 750) = 1500 \text{ mm}$$



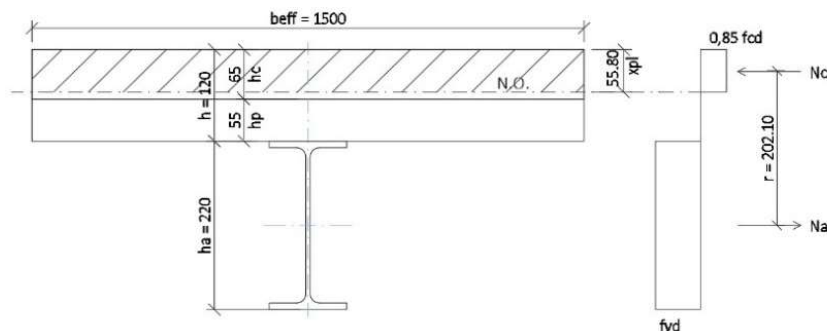
Poloha neutrální osy:

$$N_a = N_c$$

$$A_a \cdot f_{yd} = b_{eff} \cdot x_{pl} \cdot 0,85 \cdot f_{cd}$$

$$x_{pl} = \frac{A_a \cdot f_{yd}}{b_{eff} \cdot 0,85 \cdot f_{cd}} = \frac{3340 \cdot 355}{1500 \cdot 0,85 \cdot 16,667} = 55,798 \text{ mm}$$

=> poloha osy v desce



rameno sil $r = 202,10 \text{ mm} = 0,2021 \text{ m}$

$$M_{pl,Rd} = N_a \cdot r = A_a \cdot f_{yd} \cdot r = 3,34 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3 \cdot 0,2021 = 239,63 \text{ kNm}$$

POSOUZENÍ:

Podmínka

$$M_{Ed,2} \leq M_{pl,Rd}$$

$$\frac{M_{Ed,2}}{M_{pl,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{96,52}{239,63} = 0,40 \leq 1,0$$

=> VYHOVUJE

4.4.2.5.2 POSOUZENÍ NA SMYK – FÁZE 2

$$V_{Ed,2} = 64,35 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_w \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{(0,1776 \cdot 0,0059) \cdot 355 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 214,765 \text{ kN}$$

POSOUZENÍ:

Podmínka

$$V_{Ed,2} \leq V_{pl,Rd}$$

$$\frac{V_{Ed,2}}{V_{pl,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{64,35}{214,765} = 0,30 \leq 1,0$$

=> VYHOVUJE

4.4.2.6 NÁVRH SPŘAŽENÍ

4.4.2.6.1 ÚNOSNOST JEDNOHO TRNU

Návrh spřahovacích trnů 19/100, pevnost 4.8

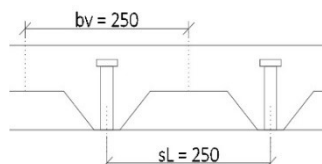
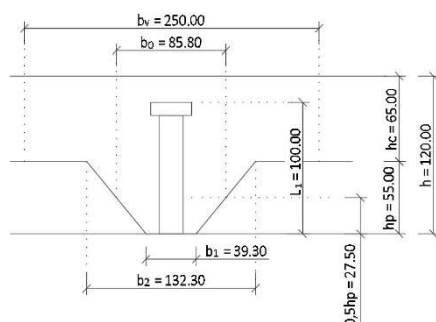
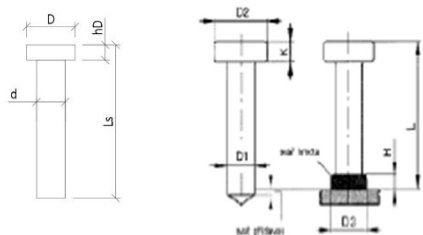
Průměr trnu (dříku)	d [mm]	19
Průměr hlavy	D [mm]	32
Výška hlavy	h_D [mm]	10
Délka trnu	L_1 [mm]	100
Délka trnu po přivaření	L_2 [mm]	95
Mez pevnosti trnu	f_u [MPa]	400
	$f_{u,d} = f_u / \gamma_v$ [MPa]	320
Součinitel spolehlivosti mat.	γ_v	1,23

Konstrukční zásady pro 19/100 [mm]

$L_1 > 4d$	$100 > 4 \cdot 19 = 76$	splněno
$D > 1,5d$	$32 > 1,5 \cdot 19 = 28,5$	splněno
$h_D > 0,4d$	$10 > 0,4 \cdot 19 = 7,6$	splněno
$L_2 > 3d$	$95 > 3 \cdot 19 = 57$	splněno

Vzdálenost trnů s_L

$s_L > 5d$	$250 > 5 \cdot 19 = 95$	splněno
$s_L < \min \{8h_c; 800 \text{ mm}\}$	$250 < \min \{520; 800\}$	splněno

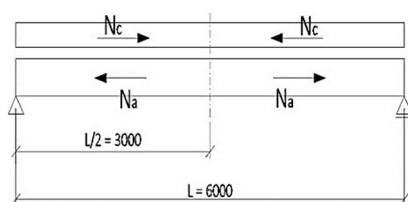


$$\alpha = \begin{cases} 0,2 \cdot \left(\frac{h_{sc}}{d} + 1 \right) & \text{pro } 3 \leq \frac{h_{sc}}{d} \leq 4 \\ 1,0 & \text{jinak} \end{cases}$$

$$h_{sc} = L_2 = 95 \text{ mm}$$

$$h_{sc}/d = 95/19 = 6,32 > 4$$

$$\Rightarrow \alpha = 1,0$$



4.4.2.6.2 ÚNOSNOST JEDNOHO TRNU

$$P_{Rk,1} = 0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot \frac{d^2}{4} = 0,8 \cdot 400 \cdot 10^{-3} \cdot \pi \cdot \frac{19^2}{4} = 90,73 \text{ kN}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}} = 0,29 \cdot 1,0 \cdot 19^2 \sqrt{(25 \cdot 31000) \cdot 10^{-3}} = 92,16 \text{ kN}$$

$$P_{Rk} = \min \{P_{Rk,1}; P_{Rk,2}\} = \min \{90,73; 92,16\} = 90,73 \text{ kN}$$

$$k_t = \frac{0,7}{\sqrt{n_r}} \cdot \frac{b_0}{h_p} \left(\frac{L_2}{h_p} - 1 \right) = \frac{0,7}{\sqrt{1}} \cdot \frac{85,8}{55} \left(\frac{95}{55} - 1 \right) = 0,79 \leq k_{t,max} = 0,85$$

$$P_{Rd} = \frac{P_{Rk} \cdot k_t}{\gamma_v} = \frac{90,73 \cdot 0,79}{1,25} = 57,644 \text{ kN}$$

Možný počet trnů „n“ pro plné spřažení na celé délce:

$$L = L_e = 6,0 \text{ m}; s_L = 250 \text{ mm}$$

$$n = L/s_L = 6000/250 = 24 \text{ trnů}$$

na polovině nosníku tedy $n_{max} = 12 \text{ trnů}$

Potřebný počet trnů:

$$F_{cd} = N_c = N_a = A_a \cdot f_{yd} = 3,34 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3 = 1185,70 \text{ kN}$$

$$n_f = \frac{F_{cf}}{P_{Rd}} = \frac{1185,70}{54,64} = 20,57 \Rightarrow 21 \text{ trnů}$$

$n_f > n_{max} \Rightarrow$ částečné (neúplné) spřažení s $n = 12 \text{ trnů}$

$$\text{Stupeň smykového spojení} \quad \eta = \frac{n}{n_f} = \frac{12}{21} = 0,571$$

$$1 - \left(\frac{355}{f_y} \right) (0,75 - 0,03L_e) = 1 - \left(\frac{355}{355} \right) (0,75 - 0,03 \cdot 6) = 0,430$$

$$\text{Podmínka} \quad \eta \geq 1 - \left(\frac{355}{f_y} \right) (0,75 - 0,03L_e)$$

$$\eta = 0,571 \geq 0,430 \quad \Rightarrow \text{částečné spřažení vyhoví}$$

4.4.2.6.3 OVĚŘENÍ ÚNOSNOSTI SPŘAŽENÉHO NOSNÍKU

$$M_{Ed} = 96,52 \text{ kNm}$$

$$\text{trnů} \quad n = 12$$

$$\text{smykové spojení} \quad \eta = 0,571$$

$$M_{a,pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd} = 2,85 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3 = 101,175 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = A_a \cdot f_{cd} \cdot r = 3,34 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3 \cdot 0,2021 = 239,63 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = M_{a,pl,Rd} + (M_{pl,Rd} - M_{a,pl,Rd})\eta = 101,175 + (239,63 - 101,175) \cdot 0,571 = 180,293 \text{ kNm}$$

POSOUZENÍ:

$$\text{Podmínka} \quad M_{Ed} < M_{Rd}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{96,52}{180,293} = 0,54 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

NÁVRH SPŘAŽENÍ: částečné, 12x trny 19/100 mm, $s_L = 250 \text{ mm}$

4.4.2.7 POSOUZENÍ POUŽITELNOSTI – MSP

4.4.2.7.1 POSOUZENÍ PRŮHYBU

FÁZE 1 (montážní stav)

$$\delta_1 = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_{k,1,1} \cdot L^4}{E_a \cdot I_{y,a}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{4,821 \cdot 6,0^4}{210 \cdot 10^6 \cdot 2,772 \cdot 10^{-5}} = 13,975 \text{ mm}$$

$$\delta_{dovolený} = \frac{L}{250} = \frac{6000}{250} = 24,00 \text{ mm}$$

$$\text{Podmínka} \quad \delta_{dov} \geq \delta_1$$

$$24,0 \geq 13,9 \text{ mm} \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Hodnoty pro výpočet:

$$L = 6000 \text{ mm}; b_{\text{eff}} = 1500 \text{ mm}$$

$$A_a (\text{IPE220}) = 3,34 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

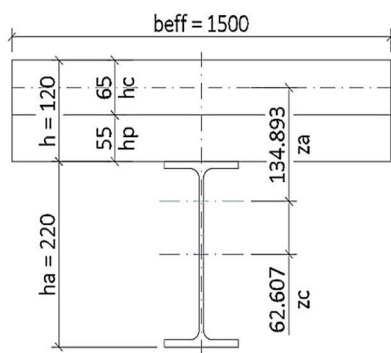
$$I_{y,a} = 2,772 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$h_a = 220 \text{ mm}; b_a = 110 \text{ mm}$$

$$h_s (\text{deska}) = 120 \text{ mm}$$

$$h_c (\text{beton}) = 65 \text{ mm}$$

$$h_p (\text{trápéz. plech}) = 55 \text{ mm}$$



FÁZE 2 (provozní stav)

Ideální průřez:

modulární poměr $E_{c,\text{eff}} = \frac{E_{cm}}{2} = \frac{31000}{2} = 15500 \text{ MPa}$

$$n = \frac{E_a}{E_{c,\text{eff}}} = \frac{210000}{15500} = 13,548 \text{ MPa}$$

těžiště ideálního průřezu:

$$y_d = \frac{A_a \cdot \frac{h_a}{2} + \frac{1}{n} b_{\text{eff}} h_c \cdot (h_a + h_s - \frac{h_c}{2})}{A_a + b_{\text{eff}} h_c \cdot \frac{1}{n}} = \frac{3340 \cdot \frac{220}{2} + \frac{1}{13,548} \cdot 1500 \cdot (220 + 120 - \frac{65}{2})}{3340 + 1500 \cdot 65 \cdot \frac{1}{13,548}} =$$

$$= 244,893 \text{ mm}$$

$$z_a = \left| y_d - \frac{h_a}{2} \right| = \left| 244,893 - \frac{220}{2} \right| = 134,893 \text{ mm}$$

$$z_c = \left| h_a + h_s - \frac{h_c}{2} - y_d \right| = \left| 220 + 120 - \frac{65}{2} - 244,893 \right| = 63,607 \text{ mm}$$

moment setrvačnosti ideálního průřezu:

$$I_i = I_{y,a} + A_a \cdot z_a^2 + \left(\frac{1}{12} \cdot b_{\text{eff}} \cdot h_c^3 + b_{\text{eff}} \cdot h_c \cdot z_c^2 \right) \cdot \frac{1}{n} = 2,772 \cdot 10^{-5} +$$

$$+ 3340 \cdot 134,893^2 + \left(\frac{1}{12} \cdot 1500 \cdot 65^3 + 1500 \cdot 65 \cdot 63,607^2 \right) \cdot \frac{1}{13,548} =$$

$$= 1,192 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

Průhyb:

$$\delta_2 = \frac{5}{384} \cdot \frac{(g_{k,1,1} + q) \cdot L^4}{E_a \cdot I_i} = \frac{5}{384} \cdot \frac{(2,802 + 6,00) \cdot 6,0^4}{210 \cdot 10^6 \cdot 1,1924 \cdot 10^{-4}} = 9,068 \text{ mm}$$

$$\delta_{\text{dovolený}} = \frac{L}{250} = \frac{6000}{250} = 24,00 \text{ mm}$$

Podmínka $\delta_{\text{dov}} \geq \delta_2$

$$24,0 \geq 9,068 \text{ mm}$$

=> VYHOVUJE

CELKOVÝ PRŮHYB

$$\delta_{\text{celk}} = \delta_1 + \delta_2 = 13,975 + 9,068 = 23,043 \text{ mm}$$

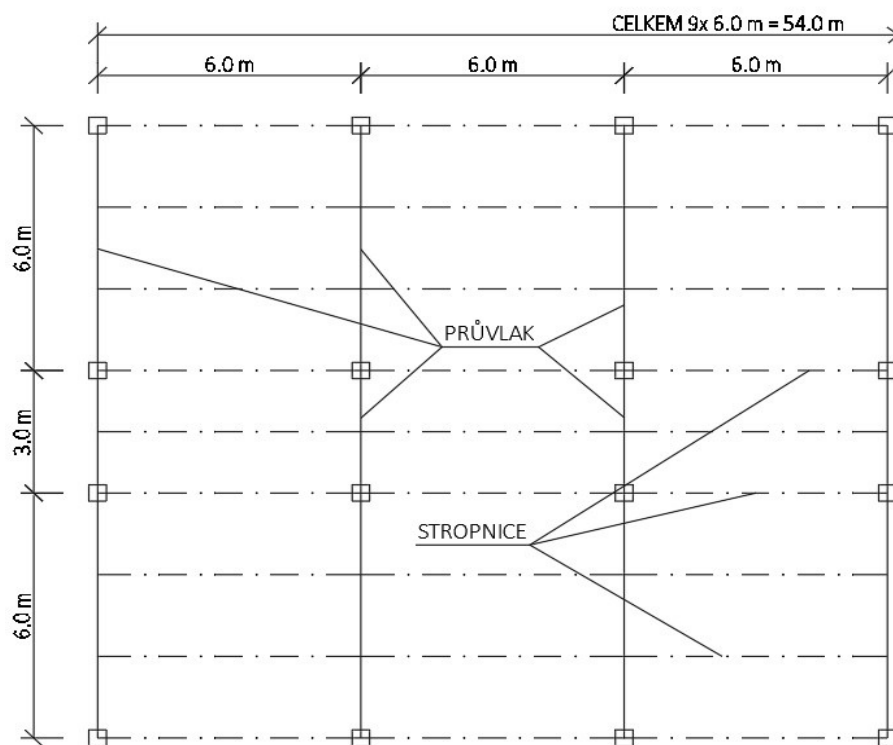
Podmínka $\delta_{\text{dov}} \geq \delta_{\text{celk}}$

$$24,0 \geq 23,043 \text{ mm}$$

=> VYHOVUJE

5 PRŮVLAK

5.1 GEOMETRIE



Osová vzdálenost průvlaků

6,0 m

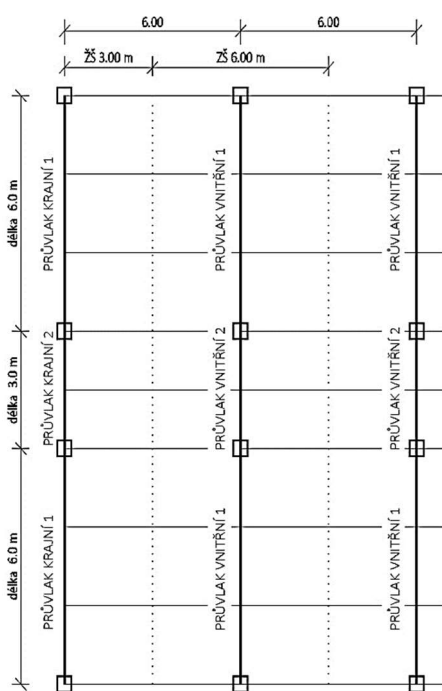
Délka průvlaků

6,0 m a 3,0 m

5.2 VÝPOČTOVÝ MODEL

Průvlakly uvažovány jako prosté nosníky podepřené sloupy.

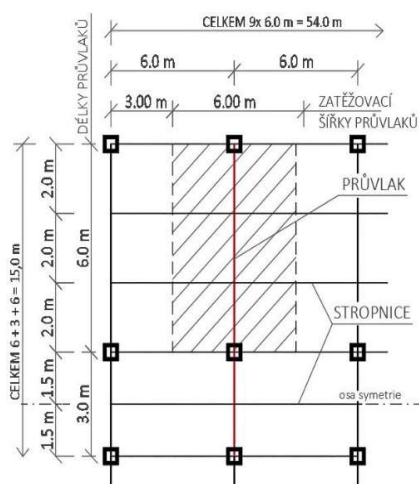
Prvek	Zatěžovací šířka [m]	Délka prvku [m]
Průvlak krajní 1	3,00	6,00
Průvlak vnitřní 1	6,00	6,00
Průvlak krajní 2	3,00	3,00
Průvlak vnitřní 2	6,00	3,00



5.3 NÁVRH A POSOUZENÍ VARIANTY A

VAR A – Průvlak uvažován jako prostý nosník o délce 6,0 m. Podepřený sloupy a nesoucí tíhu stropnic a stropní konstrukci. Stropní konstrukce navrhnutá jako prefabrikovaná – FILIGRÁN PZM. Pro posouzení je brán vnitřní průvlak o délce 6,0 m se zatěžovací šířkou 6,0 m.

5.3.1 GEOMETRIE A MATERIÁL



Průvlak

Délka	L [m]	6,0
Zatěžovací šířka	ZŠ [m]	6,0

Ocel S355

Mez kluzu – charakteristická	$f_{y,k}$ [MPa]	355
Mez kluzu – návrhová	$f_{y,d} = f_{y,k}/\gamma_M$ [MPa]	355
Pevnost v tahu ($t \leq 40$ mm)	f_u [MPa]	510
Pevnost v tahu ($40 < t \leq 100$ mm)	f_u [MPa]	490
Modul pružnosti v tlaku	E_a [MPa]	210 000
Modul pružnosti ve smyku	G_a [MPa]	81 000
Objemová hmotnost	ρ [kg/m ³]	7850
Součinitel spolehlivosti materiálu	γ_M	1,0
Součinitel příčné deformace	ν	0,3
Součinitel	$\varepsilon = (235/f_y)^{1/2}$	0,81

5.3.2 ZATÍŽENÍ

Posouvající síla od stropnic $V_{z, \text{stropnice}} = 83,34$ kN

5.3.3 VNITŘNÍ SÍLY

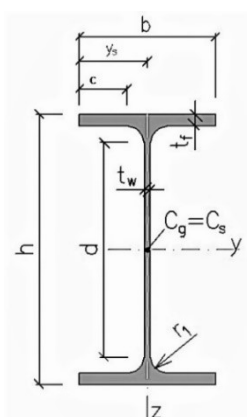
Reakce od stropnic $V_{z,2} = V_{z,\text{stropnice}} \cdot 2 = 83,34 \cdot 2 = 166,68 \text{ kN}$

Posouvající síla $V_z = V_{z,\text{Ed},2} = 166,68 \text{ kN}$

Ohybový moment $M_y = (V_{z,\text{Ed},2} \cdot L)/3 = (166,68 \cdot 6,0)/3 = 333,36 \text{ kNm}$

5.3.4 PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

IPE 400



$h = 400 \text{ mm}$
 $b = 300 \text{ mm}$
 $t_f = 24,0 \text{ mm}$
 $t_w = 13,5 \text{ mm}$
 $r_1 = 27 \text{ mm}$
 $y_s = 150 \text{ mm}$
 $d = 298 \text{ mm}$
 $c = 123 \text{ mm}$
 $g = 155 \text{ kg/m}$

A [m ²]	8,4500e-03	W _{ely} [m ³]	1,1600e-03
A _y [m ²]	4,9303e-03	W _{elz} [m ³]	1,4600e-04
A _z [m ²]	3,5197e-03	W _{ply} [m ³]	1,3070e-03
AL [m ² /m]	1,4666e+00	W _{plz} [m ³]	2,2900e-04
AD [m ² /m]	1,4666e+00	M _{ply+} [Nm]	4,64e+05
cYUSS [mm]	90	M _{ply-} [Nm]	4,64e+05
cZUSS [mm]	200	M _{plz+} [Nm]	8,13e+04
α [deg]	0,00	M _{plz-} [Nm]	8,13e+04
I _y [m ⁴]	2,3130e-04	d _y [mm]	0
I _z [m ⁴]	1,3180e-05	d _z [mm]	0
i _y [mm]	165	I _t [m ⁴]	5,1100e-07
i _z [mm]	39	I _w [m ⁶]	4,9000e-07

Zatřídění průřezu:

stojina: $d/t_w = 298/13,5 = 21,75 < 72 \cdot \epsilon = 72 \cdot 1 = 72 \Rightarrow$
 \Rightarrow Třída 1

pásnice: $c/t_f = 123/24 = 5,13 < 9 \cdot \epsilon = 9 \cdot 1 = 9 \Rightarrow$
 \Rightarrow Třída 1

5.3.5 POSOUZENÍ NA OHYB

$M_{y,\text{Ed}} = 333,36 \text{ kNm}$

$M_{c,\text{Rd}} = M_{pl,\text{Rd}} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,307 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 463,985 \text{ kNm}$

Podmínka $M_{y,\text{Ed}} \leq M_{c,\text{Rd}}$

$\frac{M_{y,\text{Ed}}}{M_{c,\text{Rd}}} \leq 1,0 \quad \frac{333,36}{463,985} = 0,71 \leq 1,0 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$

5.3.6 POSOUZENÍ STROPNICE NA OHYB S KLOPENÍM

Parametry klopení:

Souřadnice aplikovaného zatížení

$$z_g = z_a - z_s = 200 - 0 = 200 \text{ mm}$$

Parametr symetrie

$$\xi_j = \frac{\pi \cdot z_j}{k_z \cdot l} \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = 0$$

Parametr aplikovaného zatížení

$$\xi_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot l} \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot 0,20}{1,0 \cdot 6,0} \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 1,318 \cdot 10^{-5}}{80,8 \cdot 10^9 \cdot 5,11 \cdot 10^{-7}}} = 0,857$$

Parametr kroucení

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot l} \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 6,0} \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 4,90 \cdot 10^{-7}}{80,8 \cdot 10^9 \cdot 5,11 \cdot 10^{-7}}} = 0,826$$

Součinitelé zatížení a podmínky koncových výztuh

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) = 1,13 + (1,13 - 1,13) = 1,13$$

$$C_2 = 0,46$$

$$C_3 = 0,53$$

- pro kloubové uložení a parabolický průběh momentů bez výztuh bránící klopení

Relativní kritický moment

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \left(\sqrt{1 + k_{wt}^2 + (C_2 \cdot \xi_g - C_3 \cdot \xi_j)^2} - (C_2 \cdot \xi_g - C_3 \cdot \xi_j) \right)$$

$$\mu_{cr} = \frac{1,13}{1} (\sqrt{1 + 0,826^2 + (0,46 \cdot 0,857 - 0,53 \cdot 0)^2} - (0,46 \cdot 0,857 - 0,53 \cdot 0)) = 1,14$$

Kritický moment

$$M_{cr} = \frac{\mu_{cr} \cdot \pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{l} = \frac{1,14\pi \cdot \sqrt{210 \cdot 10^9 \cdot 1,318 \cdot 10^{-5} \cdot 80,8 \cdot 10^9 \cdot 5,11 \cdot 10^{-7}}}{6,0} = 201,596 \text{ kNm}$$

Srovnávací štíhlost

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,307 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{201,596 \cdot 10^3}} = 1,517$$

Parametr klopení

$$\varphi = 0,5 \cdot [1 + \alpha_1 \cdot (\lambda_{LT}^2 - 0,2) + \lambda_{LT}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21(1,517^2 - 0,2) + 1,517^2] = 1,789$$

Redukční součinitel

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\varphi + \sqrt{\varphi^2 - \lambda_{LT}^2}} = \frac{1}{1,789 + \sqrt{1,789^2 - 1,517^2}} = 0,365 \leq 1,0$$

POSOUZENÍ:

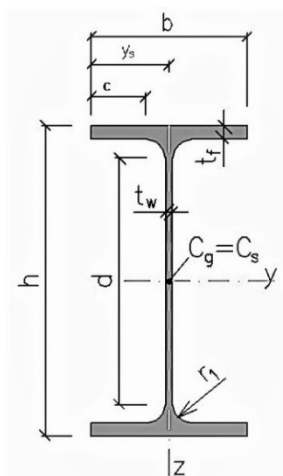
Podmínka $M_{Sd} \leq M_{b,Rd}$

$$M_{Sd} = M_{y,Ed} = 333,36 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,365 \cdot \frac{1,307 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 169,50 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{333,36}{169,50} = 1,98 \not\leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{NEVYHOVUJE}$$

=> návrh nového průřezu

**IPE 500**

h = 500 mm

b = 200 mm

t_f = 16,0 mmt_w = 10,2 mmr₁ = 21 mmy_s = 100 mm

d = 426 mm

c = 229 mm

g = 155 kg/m

A [m ²]	1,1600e-02	W _{ely} [m ³]	1,9300e-03
A _y [m ²]	6,4460e-03	W _{elz} [m ³]	2,1400e-04
A _z [m ²]	5,1707e-03	W _{ply} [m ³]	2,1940e-03
AL [m ² /m]	1,7434e+00	W _{plz} [m ³]	3,3600e-04
AD [m ² /m]	1,7434e+00	M _{ply+} [Nm]	7,79e+05
cYUSS [mm]	100	M _{ply-} [Nm]	7,79e+05
cZUSS [mm]	250	M _{plz+} [Nm]	1,19e+05
α [deg]	0,00	M _{plz-} [Nm]	1,19e+05
I _y [m ⁴]	4,8200e-04	d _y [mm]	0
I _z [m ⁴]	2,1420e-05	d _z [mm]	0
i _y [mm]	204	I _t [m ⁴]	8,9300e-07
i _z [mm]	43	I _w [m ⁶]	1,2490e-06

NOVÉ POSOUZENÍ STROPNICE NA OHYB S KLOPENÍM

Parametry klopení:

Souřadnice aplikovaného zatížení

$$z_g = z_a - z_s = 200 - 0 = 200 \text{ mm}$$

Parametr symetrie

$$\xi_j = \frac{\pi \cdot z_j}{k_z \cdot l} \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = 0$$

Parametr aplikovaného zatížení

$$\xi_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot l} \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot 0,20}{1,0 \cdot 6,0} \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 2,142 \cdot 10^{-5}}{80,8 \cdot 10^9 \cdot 8,93 \cdot 10^{-7}}} = 1,032$$

Parametr kroucení

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot l} \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 6,0} \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 1,249 \cdot 10^{-6}}{80,8 \cdot 10^9 \cdot 8,93 \cdot 10^{-7}}} = 0,997$$

Součinitelé zatížení a podmínky koncových výztuh

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) = 1,13 + (1,13 - 1,13) = 1,13$$

$$C_2 = 0,46$$

$$C_3 = 0,53$$

- pro kloubové uložení a parabolický průběh momentů bez výztuh bránící klopení

Relativní kritický moment

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \left(\sqrt{1 + k_{wt}^2 + (C_2 \cdot \xi_g - C_3 \cdot \xi_j)^2} - (C_2 \cdot \xi_g - C_3 \cdot \xi_j) \right)$$

$$= \frac{1,13}{1} (\sqrt{1 + 0,997^2 + (0,46 \cdot 1,032 - 0,53 \cdot 0)^2} - (0,46 \cdot 1,032 - 0,53 \cdot 0)) = 1,209$$

Kritický moment

$$M_{cr} = \frac{\mu_{cr} \cdot \pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{1} = \frac{1,209 \pi \cdot \sqrt{210 \cdot 10^9 \cdot 2,142 \cdot 10^{-5} \cdot 80,8 \cdot 10^9 \cdot 8,93 \cdot 10^{-7}}}{6,0} = 368,989 \text{ kNm}$$

Srovnávací štíhlost

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2,194 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{368,989 \cdot 10^3}} = 1,426$$

Parametr klopení

$$\varphi = 0,5 \cdot [1 + \alpha_1 \cdot (\lambda_{LT}^2 - 0,2) + \lambda_{LT}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21(1,426 - 0,2) + 1,426^2] = 1,071$$

Redukční součinitel

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda_{LT}^2}} = \frac{1}{1,071 + \sqrt{1,071^2 - 1,426^2}} = 0,43 \leq 1,0$$

POSOUZENÍ:

$$\text{Podmínka} \quad M_{Sd} \leq M_{b,Rd}$$

$$M_{Sd} = M_{y,Ed} = 333,36 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,43 \cdot \frac{2,194 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 337,14 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{333,36}{337,14} = 0,98 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Pozn.: Průřez IPE 450 byl také spočítán, ale při posouzení na kombinaci ohybu a klopení nevyhověl.

5.4 NÁVRH A POSOUZENÍ VARIANTY B

VAR B – průvlak uvažován jako prostý nosník podepřený sloupy. Je spřažen společně se stropnicí spolu s trapézovým plechem TR55/250 a betonovou deskou C25/30.

5.4.1 GEOMETRIE A MATERIÁL

Průvlak

Délka	L [m]	6,00
Osová vzdálenost = zatěžovací šířka	ZŠ [m]	3,00

Ocel S355

Mez kluzu – charakteristická	$f_{y,k}$ [MPa]	355
Mez kluzu – návrhová	$f_{y,d} = f_{y,k}/\gamma_M$ [MPa]	355
Pevnost v tahu ($t \leq 40$ mm)	f_u [MPa]	510
Pevnost v tahu ($40 < t \leq 100$ mm)	f_u [MPa]	490
Modul pružnosti v tlaku	E_a [MPa]	210 000
Modul pružnosti ve smyku	G_a [MPa]	81 000
Objemová hmotnost	ρ [kg/ m ³]	7850
Součinitel spolehlivosti materiálu	γ_M	1,0
Součinitel příčné deformace	ν	0,3
Součinitel	$\varepsilon = (235/f_y)^{1/2}$	0,81

Beton C25/30

Pevnost v tlaku – charakteristická	$f_{c,k}$ [MPa]	25
Pevnost v tlaku – návrhová	$f_{c,d} = f_{c,k}/\gamma_M$ [MPa]	16,67
Pevnost v tlaku	f_{cm} [MPa]	33
Střední pevnost v tahu	f_{ctm} [MPa]	2,6
Pevnost v tahu (dolní hodnota)	$f_{ctk, 0,05}$ [MPa]	1,8
Modul pružnosti	E_{cm} [MPa]	31 000
Objemová hmotnost – čerstvý beton	ρ_1 [kg/ m ³]	2 600
Objemová hmotnost – ztvrdlý beton	ρ [kg/ m ³]	2 500
Součinitel spolehlivosti materiálu	γ_M	1,5
Přetvoření betonu	ε_{cu1} [‰]	3,5

Ocel B500B

Mez kluzu – charakteristická	$f_{s,k}$ [MPa]	500
Mez kluzu – návrhová	$f_{s,d} = f_{s,k}/\gamma_s$ [MPa]	437,78
Pevnost v tahu	$f_{t,k}$ [MPa]	550
Součinitel spolehlivosti materiálu	γ_s	1,15

5.4.2 ZATÍŽENÍ

Posouvající síla stropnice $V_{z,Ed,st} = 64,35$ kN

5.4.3 VNITŘNÍ SÍLY

Hodnoty z výpočtového softwaru SCIA Engineer.

Vnitřní síly na prutu

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
Výběr : Vše
Třída : RC1_kombinace

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
Nv122	Průvlak - IPE270	0,000	CO19/3	-67,42	13,70	-10,17	0,00	0,00	-14,05
Nv123	Průvlak - IPE270	4,000	CO5/1	67,42	14,69	7,25	0,00	-13,55	-14,40
Nv150	Průvlak - IPE270	4,000	CO5/1	67,42	-14,69	7,25	0,00	-13,55	14,40
Nv7	Průvlak - IPE270	6,000	CO10/7	-5,77	1,42	-130,75	0,00	0,00	1,69
Nv188	Průvlak - IPE270	0,000	CO10/7	-16,30	6,34	130,75	0,00	0,00	-7,48
Nv55	Průvlak - IPE270	0,000	CO10/7	-32,52	4,12	49,91	-0,01	0,00	-4,93
Nv34	Průvlak - IPE270	0,000	CO10/7	-32,52	-4,12	49,91	0,01	0,00	4,93
Nv209	Průvlak - IPE270	2,000	CO24/8	8,38	0,10	49,20	0,00	-55,93	-0,16
Nv38	Průvlak - IPE270	2,400	CO10/7	2,95	-0,54	-0,02	0,00	260,55	0,94
Nv150	Průvlak - IPE270	6,000	CO5/1	67,42	-14,69	6,30	0,00	0,00	-14,97
Nv123	Průvlak - IPE270	6,000	CO5/1	67,42	14,69	6,30	0,00	0,00	14,97

Posouvající síla $V_{z,Ed} = 130,75 \text{ kN}$

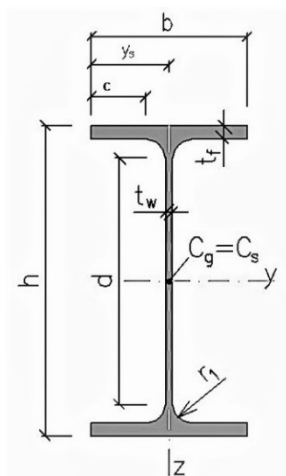
Ohybový moment $M_{y,Ed} = 260,55 \text{ kNm}$

Kontrola výpočtem:

Reakce od stropnic $V_{z,Ed,st,2} = 2 \cdot V_{z,Ed,st} = 2 \cdot 64,35 = 128,70 \text{ kN}$

Posouvající síla $V_{Ed} = V_{z,Ed,st,2} = 128,70 \text{ kN}$

Ohyb. moment $M_{Ed} = (V_{z,Ed,st,2} \cdot L)/3 = (128,70 \cdot 6,0)/3 = 257,4 \text{ kNm}$



5.4.4 PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

IPE 270

h = 270 mm

b = 135 mm

t_f = 10,2 mmt_w = 6,6 mmr₁ = 15 mmy_s = 67,5 mm

d = 219,6 mm

c = 49,2 mm

g = 155 kg/m

A [m ²]	4,5900e-03	W _{ely} [m ³]	4,2900e-04
A _y [m ²]	2,7706e-03	W _{elz} [m ³]	6,2200e-05
A _z [m ²]	1,8265e-03	W _{ply} [m ³]	4,8400e-04
AL [m ² /m]	1,0409e+00	W _{plz} [m ³]	9,7000e-05
AD [m ² /m]	1,0409e+00	M _{ply+} [Nm]	1,72e+05
c _{YUSS} [mm]	68	M _{ply-} [Nm]	1,72e+05
c _{ZUSS} [mm]	135	M _{plz+} [Nm]	3,44e+04
α [deg]	0,00	M _{plz-} [Nm]	3,44e+04
I _y [m ⁴]	5,7900e-05	d _y [mm]	0
I _z [m ⁴]	4,2000e-06	d _z [mm]	0
I _y [mm]	112	I _t [m ⁴]	1,5900e-07
I _z [mm]	30	I _w [m ⁶]	7,0600e-08

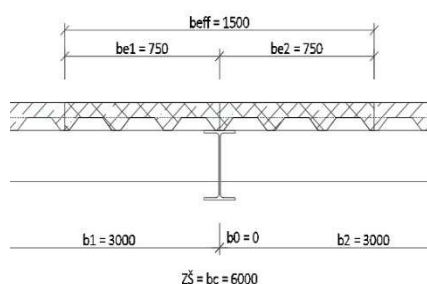
Zatřídění průřezu:

stojina d / t_w = 219,6 / 6,6 = 33,27 < 72 · ε = 72 · 1 = 72 => Třída 1pásnice c / t_f = 49,2 / 10,2 = 4,82 < 9 · ε = 9 · 1 = 9 => Třída 1

5.4.5 POSOUZENÍ ÚNOSNOSTI – MSÚ

5.4.5.1 POSOUZENÍ NA OHYB

Efektivní šířky:

b_{e1} = b_{e2} = min {1/8 L_e; 1/2 b_c} pro vnitřní deskub_{e1} = b_{e2} = min {1/8 · 6000; 1/2 · 6000} = min {750; 3000} mmb_{e1} = b_{e2} = 750 mmβ_i = [0,55+0,025 (L_e/b_{ei})] = [0,55+0,025(6000/750)] = 0,75 < 1,0b_{eff,0} = b₀ + Σ (β_i · b_{ei}) = 0 + 0,75 · (750 + 750) = 1125 mmb_{eff,1} = b_{eff,2} = b₀ + Σ b_{ei} = 0 + (750 + 750) = 1500 mmL_e = 6000 mmL_e/2 = 3000 mmL_e/4 = 1500 mmb_c = 6000 mmb₁ = b₂ = 3000 mmb₀ = 0 mm

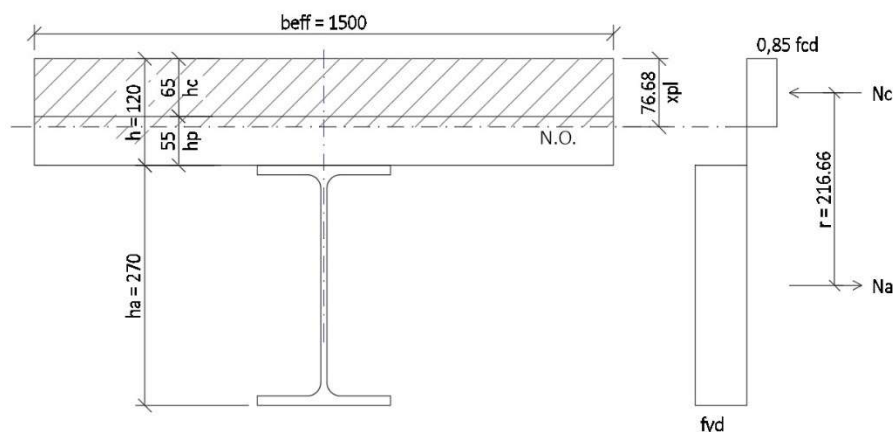
Poloha neutrální osy:

$$N_a = N_c$$

$$A_a \cdot f_{yd} = b_{eff} \cdot x_{pl} \cdot 0,85 \cdot f_{cd}$$

$$x_{pl} = \frac{A_a \cdot f_{yd}}{b_{eff} \cdot 0,85 \cdot f_{cd}} = \frac{4590 \cdot 355}{1500 \cdot 0,85 \cdot 16,667} = 76,68 \text{ mm}$$

=> poloha osy v desce



rameno sil $r = 216,66 \text{ mm} = 0,21666 \text{ m}$

$$M_{pl,Rd} = N_a \cdot r = A_a \cdot f_{yd} \cdot r = 4,59 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3 \cdot 0,21666 = 353,037 \text{ kNm}$$

POSOUZENÍ:

Podmínka $M_{y,Ed} \leq M_{pl,Rd}$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{260,55}{353,037} = 0,48 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

5.4.5.2 POSOUZENÍ NA SMYK

Plocha stojiny

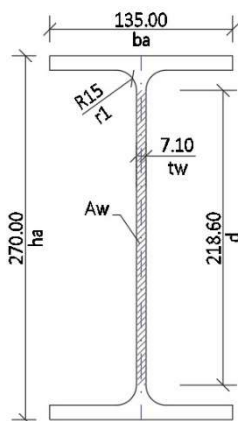
$$A_w = d \cdot t_w = 219,6 \cdot 6,6 = 1449,36 \text{ mm}^2 = 1,45 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

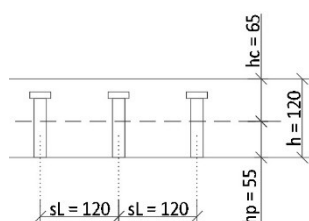
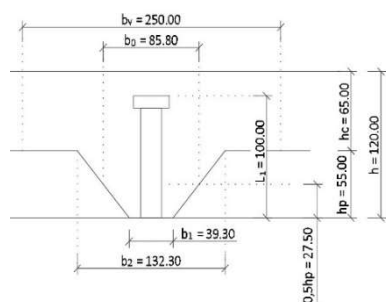
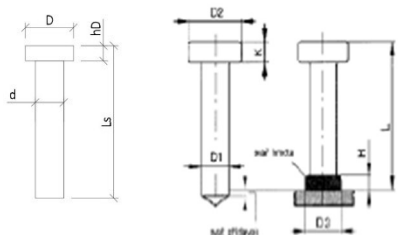
$$V_{pl,Rd} = \frac{A_w \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1,45 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 297,19 \text{ kN}$$

POSOUZENÍ:

Podmínka $V_{z,Ed} \leq V_{pl,Rd}$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{130,75}{297,19} = 0,44 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$





$$\alpha = \begin{cases} 0,2 \cdot \left(\frac{h_{sc}}{d} + 1 \right) & \text{pro } 3 \leq \frac{h_{sc}}{d} \leq 4 \\ 1,0 & \text{jinak} \end{cases}$$

$$h_{sc} = L_2 = 95 \text{ mm}$$

$$h_{sc}/d = 95/19 = 6,32 > 4$$

$$\Rightarrow \alpha = 1,0$$

5.4.5.3 NÁVRH SPŘAŽENÍ

5.4.5.3.1 ÚNOSNOST JEDNOHO TRNU

Návrh spřahovacích trnů 19/100, pevnost 4.8

Průměr trnu (dříku)	d [mm]	19
Průměr hlavy	D [mm]	32
Výška hlavy	h _D [mm]	10
Délka trnu	L ₁ [mm]	100
Délka trnu po přivaření	L ₂ [mm]	95
Mez pevnosti trnu	f _u [MPa]	400
	f _{u,d} = f _u / γ _v [MPa]	320
Součinitel spolehlivosti mat.	γ _v	1,25

Konstrukční zásady pro 19/100 [mm]

L ₁ > 4d	100 > 4 · 19 = 76	splněno
D > 1,5d	32 > 1,5 · 19 = 28,5	splněno
h _D > 0,4d	10 > 0,4 · 19 = 7,6	splněno
L ₂ > 3d	95 > 3 · 19 = 57	splněno

Vzdálenost trnů s_L

s _L > 5d	120 > 5 · 19 = 95	splněno
s _L < min {8h _c ; 800 mm}	120 < min {720; 800}	splněno

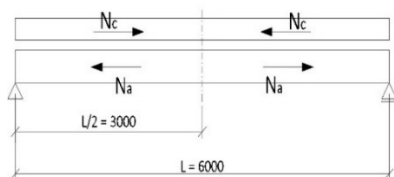
5.4.5.3.2 ÚNOSNOST JEDNOHO TRNU

$$P_{Rk,1} = 0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot \frac{d^2}{4} = 0,8 \cdot 400 \cdot 10^{-3} \cdot \pi \cdot \frac{19^2}{4} = 90,73 \text{ kN}$$

$$P_{Rk,2} = 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}} =$$

$$= 0,29 \cdot 1,0 \cdot 19^2 \cdot \sqrt{(25 \cdot 31000) \cdot 10^{-3}} = 92,16 \text{ kN}$$

$$P_{Rk} = \min \{P_{Rk,1}; P_{Rk,2}\} = \min \{90,73; 92,16\} = 90,73 \text{ kN}$$



$$k_l = 0,6 \cdot \frac{b_0}{h_p} \left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1 \right) = 0,6 \cdot \frac{85,8}{55} \left(\frac{95}{55} - 1 \right) = 1,106 \leq k_{l,max} = 1,0$$

$$\Rightarrow k_l = 1,0$$

$$P_{Rd} = \frac{P_{Rk} \cdot k_l}{\gamma_v} = \frac{90,73 \cdot 1,0}{1,25} = 72,584 \text{ kN}$$

Možný počet trnů „n“ pro plné spřažení na celé délce:

$$L = L_e = 6,0 \text{ m}; s_L = 120 \text{ mm}$$

$$n = L/s_L = 6000/120 = 50 \text{ trnů}$$

na polovině nosníku tedy $n_{max} = 25$ trnů

Potřebný počet trnů na polovině rozpětí:

$$F_{cd} = N_c = N_a = A_a \cdot f_{yd} = 4,59 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3 = 1629,450 \text{ kN}$$

$$n_f = \frac{F_{cf}}{P_{Rd}} = \frac{1629,45}{72,584} = 22,45 \Rightarrow 23 \text{ trnů}$$

$n_f < n_{max} \Rightarrow$ plné spřažení

5.4.5.3.3 OVĚŘENÍ ÚNOSNOSTI SPŘAŽENÉHO NOSNÍKU

$$M_{y,Ed} = 260,55 \text{ kNm}$$

$$\text{trnů} \quad n = 25$$

$$\text{smykové spojení} \quad \eta = \frac{n}{n_f} = \frac{25}{23} = 1,087$$

$$M_{a,pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd} = 4,84 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3 = 171,82 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = A_a \cdot f_{yd} \cdot r = 4,59 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3 \cdot 0,21666 = 353,037 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= M_{a,pl,Rd} + (M_{pl,Rd} - M_{a,pl,Rd}) \cdot \eta = \\ &= 171,82 + (353,037 - 171,82) \cdot 1,087 = 368,795 \text{ kNm} \end{aligned}$$

POSOUZENÍ:

$$\text{Podmínka} \quad M_{y,Ed} \leq M_{Rd}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{260,55}{368,795} = 0,71 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

NÁVRH SPŘAŽENÍ: plné, 25x trny 19/100 mm, $s_L = 120$ mm

Hodnoty pro výpočet:

$$L = 6000 \text{ mm}; b_{\text{eff}} = 1500 \text{ mm}$$

$$A_a (\text{IPE270}) = 4,59 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

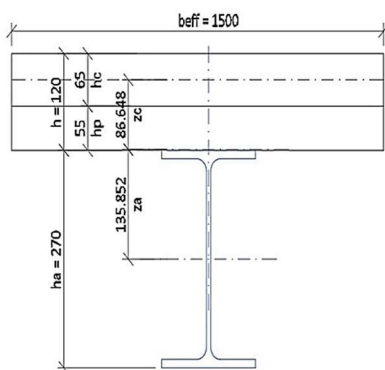
$$I_{y,a} = 5,79 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$h_a = 270 \text{ mm}; b_a = 120 \text{ mm}$$

$$h_s (\text{deska}) = 120 \text{ mm}$$

$$h_c (\text{beton}) = 65 \text{ mm}$$

$$h_p (\text{trapéz. plech}) = 55 \text{ mm}$$



Charakteristická hodnota
stálého zatížení stropnice

$$g_{k,\text{stropnice}} = 7,455 \text{ kN/m}$$

Vl. tíha průvlaku IPE 270

$$g_{\text{průvlaku}} = 0,361 \text{ kN/m}$$

5.4.6 POSOUZENÍ POUŽITELNOSTI – MSP

5.4.6.1 POSOUZENÍ PRŮHYBU

Ideální průřez:

$$\text{modulární poměr} \quad E_{c,\text{eff}} = \frac{E_{cm}}{2} = \frac{31000}{2} = 15500 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_a}{E_{c,\text{eff}}} = \frac{210000}{15500} = 13,548$$

těžiště ideálního průřezu:

$$y_d = \frac{A_a \cdot \frac{h_a}{2} + \frac{1}{n} b_{\text{eff}} h_c \cdot (h_a + h_s - \frac{h_c}{2})}{A_a + b_{\text{eff}} h_c \cdot \frac{1}{n}} = \frac{4590 \cdot \frac{270}{2} + \frac{1}{13,548} \cdot 1500 \cdot (270 + 120 - \frac{65}{2})}{4590 + 1500 \cdot 65 \cdot \frac{1}{13,548}} =$$

$$= 270,852 \text{ mm}$$

$$z_a = \left| y_d - \frac{h_a}{2} \right| = \left| 270,852 - \frac{270}{2} \right| = 135,852 \text{ mm}$$

$$z_c = \left| h_a + h_s - \frac{h_c}{2} - y_d \right| = \left| 270 + 120 - \frac{65}{2} - 270,852 \right| = 86,648 \text{ mm}$$

moment setrvačnosti ideálního průřezu:

$$I_i = I_{y,a} + A_a \cdot z_a^2 + \left(\frac{1}{12} \cdot b_{\text{eff}} \cdot h_c^3 + b_{\text{eff}} \cdot h_c \cdot z_c^2 \right) \cdot \frac{1}{n} = 5,79 \cdot 10^{-5} +$$

$$+ 4590 \cdot 135,852^2 + \left(\frac{1}{12} \cdot 1500 \cdot 65^3 + 1500 \cdot 65 \cdot 86,648^2 \right) \cdot \frac{1}{13,548} =$$

$$= 1,99 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

Průhyb:

$$g_k = \frac{g_{k,\text{stropnice}}}{Z_S \text{ stropnice}} \cdot Z_S \text{ průvlaku} + \text{vl. tíha průvlaku} =$$

$$= \frac{7,455}{2,0} \cdot 6,0 + 0,361 = 22,726 \text{ mm}$$

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot L^4}{E_a \cdot I_i} = \frac{5}{384} \cdot \frac{22,726 \cdot 6^4}{210 \cdot 10^6 \cdot 1,99 \cdot 10^{-4}} = 9,17 \text{ mm}$$

$$\delta_{\text{dov},1} = L / 250 = 6000 / 250 = 24,0 \text{ mm}$$

$$\delta_{\text{dov},2} = L / 400 = 6000 / 400 = 15,0 \text{ mm}$$

$$\text{Podmínka} \quad \delta_{\text{dov},1} \geq \delta \quad \delta_{\text{dov},2} \geq \delta$$

$$24,0 \geq 9,17 \text{ mm} \quad 15,0 \geq 9,17 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

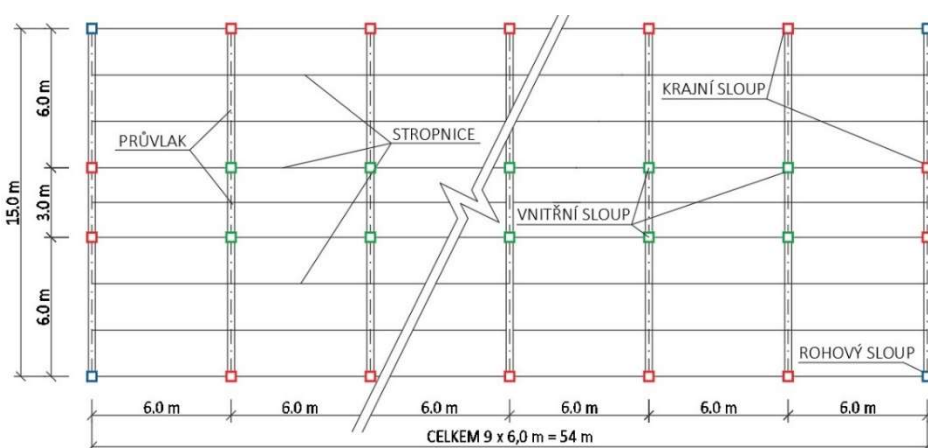
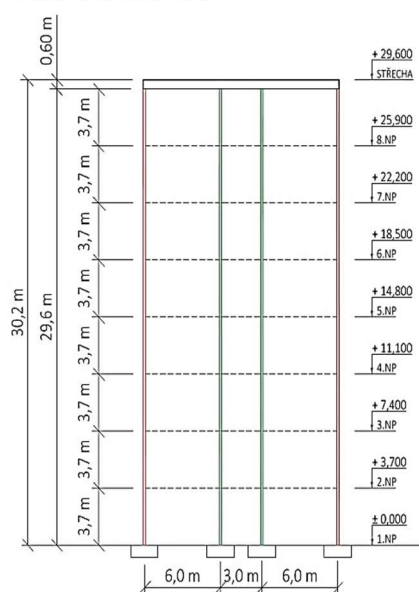
6 SLOUPY

Sloupy jsou navrženy ve dvou možnostech pro variantu B – konstrukce se spřaženými stropy. První možnost – VAR B.1 – sloup navrhnout jako obetonovaný ocelový průřez.

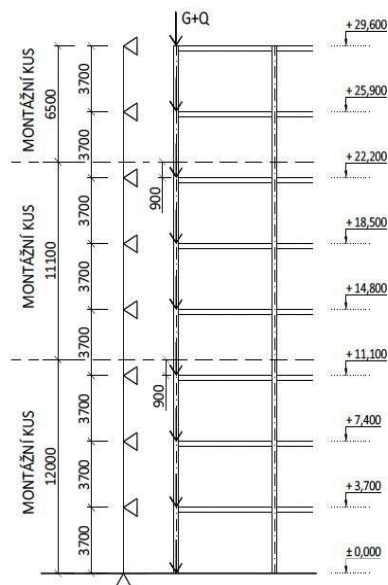
Druhá možnost - VAR B.2 – sloupy navržené jako ocelové průřezy.

6.1 GEOMETRIE

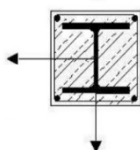
SCHÉMA PŘÍČNÉHO ŘEZU



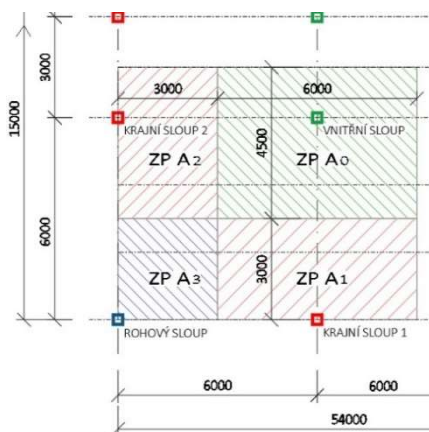
Osová vzdálenost sloupů v podélném směru	6,0 m
Osová vzdálenost sloupů v příčném směru	6,0 m a 3,0 m
Délka sloupu (výška patra)	3,70 m



obetonovaný
průřez HEB



PŮDORYSNÉ SCHÉMA



6.2 NÁVRH A POSOUZENÍ VARIANTY B.1

VAR B.1 – Sloup je uvažován jako prostý nosník o vzpěrné délce $L = 3,7$ m, namáhaný tlakem a ohybovým momentem.

Stropní konstrukce uvažována jako spřažená. Sloupy jsou navrhnuté jako obetonovaný průřez ocelového profilu HEB. Obetonování je kolem celého průřezu z důvodu zvýšení únosnosti, úspory oceli, ochrany materiálu proti ohni a mechanickému poškození.

Každý sloup je tvořen třemi montážními díly o délkách 12,0 m, 11,1 m a 6,5 m. Průřez nebude po výšce odstupňován. Montážní styk umístěn 900 mm nad podlahou.

Výpočet je uvažován pro vnitřní sloup.

6.2.1 GEOMETRIE A MATERIÁL

Délka (výška)	L [m]	3,70
Zatěžovací plocha na vnitřní sloup	ZP A0 [m ²]	27,0
Zat. plocha na krajní sloup 1 (v podélném směru)	ZP A1 [m ²]	18,0
Zat. plocha na krajní sloup 2 (v příčném směru)	ZP A2 [m ²]	13,5
Zat. plocha na rohový sloup	ZP A3 [m ²]	9,0

Ocel S355

Mez kluzu – charakteristická	$f_{y,k}$ [MPa]	355
Mez kluzu – návrhová	$f_{y,d} = f_{y,k}/\gamma_M$ [MPa]	355
Pevnost v tahu ($t \leq 40$ mm)	f_u [MPa]	510
Pevnost v tahu ($40 < t \leq 100$ mm)	f_u [MPa]	490
Modul pružnosti v tlaku	E_a [MPa]	210 000
Modul pružnosti ve smyku	G_a [MPa]	81 000
Objemová hmotnost	ρ [kg/ m ³]	7850
Součinitel spolehlivosti materiálu	γ_M	1,0
Součinitel příčné deformace	ν	0,3
Součinitel	$\varepsilon = (235/f_y)^{1/2}$	0,81

Beton C25/30

Pevnost v tlaku – charakteristická	$f_{c,k}$ [MPa]	25
Pevnost v tlaku – návrhová	$f_{c,d} = f_{c,k}/\gamma_M$ [MPa]	16,67
Pevnost v tlaku	f_{cm} [MPa]	33
Střední pevnost v tahu	f_{ctm} [MPa]	2,6
Pevnost v tahu (dolní hodnota)	$f_{ctk, 0,05}$ [MPa]	1,8
Modul pružnosti	E_{cm} [MPa]	31 000
Objemová hmotnost – čerstvý beton	ρ_1 [kg/ m ³]	2 600
Objemová hmotnost – ztvrdlý beton	ρ [kg/ m ³]	2 500
Součinitel spolehlivosti materiálu	γ_M	1,5
Přetvoření betonu	ε_{cu1} [‰]	3,5

Ocel B500B

Mez kluzu – charakteristická	$f_{s,k}$ [MPa]	500
Mez kluzu – návrhová	$f_{s,d} = f_{s,k}/\gamma_s$ [MPa]	437,78
Pevnost v tahu	$f_{t,k}$ [MPa]	550
Součinitel spolehlivosti materiálu	γ_s	1,15

6.2.2 VNITŘNÍ SÍLY

Hodnoty převzaty z výpočtového programu SCIA Engineer.

Vnitřní síly na prutu

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
Výběr : Vše
Třída : RC1_kombinace

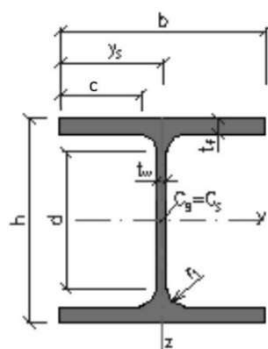
Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
SI145	Sloup1 - HEB320	0,000	CO24/8	-2353,90	0,05	1,17	0,00	-3,47	-0,11
SI96	Sloup1 - HEB320	3,700	CO5/1	-142,38	1,75	-1,21	0,01	0,00	0,00
SI121	Sloup1 - HEB320	0,000	CO10/7	-2291,90	-14,25	-0,77	0,00	3,83	67,71
SI200	Sloup1 - HEB320	0,000	CO13/5	-185,06	2,72	0,08	0,00	-0,31	-10,06
SI145	Sloup1 - HEB320	0,000	CO5/1	-1397,76	-8,80	-5,83	0,01	24,90	38,50
SI89	Sloup1 - HEB320	0,000	CO5/1	-1397,76	-8,80	5,83	-0,01	-24,90	38,50
SI170	Sloup1 - HEB320	0,000	CO20/2	-2026,11	-3,27	-2,59	-0,02	6,51	5,98
SI226	Sloup1 - HEB320	0,000	CO20/2	-2026,11	-3,27	2,59	0,02	-6,51	5,98
SI115	Sloup1 - HEB320	3,700	CO5/1	-1039,08	-1,78	0,12	0,00	0,97	-16,60

$$N_{Ed} = -2353,90 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 24,90 \text{ kNm} \quad M_{z,Ed} = 67,71 \text{ kNm}$$

6.2.3 PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

HEB 180



$$h = 180 \text{ mm}$$

$$b = 180 \text{ mm}$$

$$t_f = 14 \text{ mm}$$

$$t_w = 8,5 \text{ mm}$$

$$r_1 = 15 \text{ mm}$$

$$y_s = 90 \text{ mm}$$

$$d = 122 \text{ mm}$$

$$c = 75 \text{ mm}$$

$$g = 51,2 \text{ kg/m}$$

A [m ²]	6,5250e-03	Wely [m ³]	4,2570e-04
Ay [m ²]	4,8159e-03	Welz [m ³]	1,5140e-04
Az [m ²]	1,6236e-03	Wply [m ³]	4,8140e-04
AL [m ² /m]	1,0400e+00	Wplz [m ³]	2,3100e-04
AD [m ² /m]	1,0371e+00	Mply+ [Nm]	1,71e+05
cYUSS [mm]	90	Mply- [Nm]	1,71e+05
cZUSS [mm]	90	Mplz+ [Nm]	8,20e+04
α [deg]	0,00	Mplz- [Nm]	8,20e+04
Iy [m ⁴]	3,8310e-05	dy [mm]	0
Iz [m ⁴]	1,3630e-05	dz [mm]	0
Iy [mm]	77	It [m ⁴]	4,2160e-07
Iz [mm]	46	Iw [m ⁶]	9,3746e-08

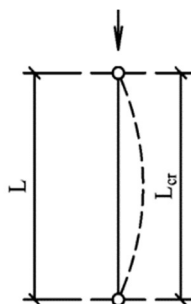
Zatřídění průřezu:

$$\text{stojina } d/t_w = 122/8,5 = 14,35 < 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0,81 = 26,85 \Rightarrow$$

=> Třída 1

$$\text{pásnice } c/t_f = 49,2/10,2 = 4,82 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29 \Rightarrow$$

=> Třída 1



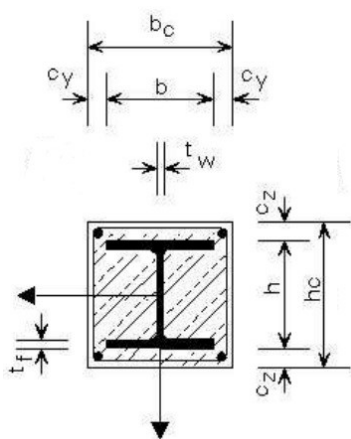
Vzpěrné délky:

$$\beta = 1,0$$

$$L = 3700 \text{ mm}$$

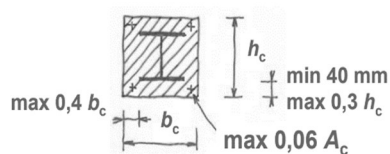
$$L_{cr} = L \cdot \beta = 3700 \cdot 1,0 = 3700 \text{ mm}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_{cr,w} = 3700 \text{ mm}$$



6.2.4 NÁVRH OBETONOVÁNÍ SLOUPU

OCELOVÝ PRŮŘEZ	šířka průřezu	b [mm]	180
	výška průřezu	h [mm]	180
	tloušťka stojiny	t _w [mm]	8,50
	tloušťka pásnic	t _f [mm]	14,00
	plocha průřezu	A _a [m ²]	6,525 · 10 ⁻³
	moment setrvačnosti	I _{a,y} [m ⁴]	3,831 · 10 ⁻⁵
	kolem osy y a z	I _{a,z} [m ⁴]	1,363 · 10 ⁻⁵
BETON	tloušťka obetonování	c _y = c _z [mm]	50,00
	šířka sloupu	b _c = h _c [mm]	280
	plocha betonu	A _c [m ²]	7,188 · 10 ⁻²
	moment setrvačnosti	I _{c,y} [m ⁴]	5,122 · 10 ⁻⁴
		I _{c,z} [m ⁴]	5,122 · 10 ⁻⁴
BETONÁŘSKÁ VÝZTUŽ	průměr výztuže	Ø [mm]	22
	plocha výztuže 1 prut	A _{s,1} [m ²]	3,801 · 10 ⁻⁴
	4 pruty	A _s [m ²]	1,521 · 10 ⁻³
	moment setrvačnost	I _s [m ⁴]	5,75 · 10 ⁻⁹



Konstrukční zásady:

$$c_y = c_z = c$$

$$c < \max 0,4 b_c \quad 50 < 0,4 \cdot 280 = 112 \text{ mm} \quad \Rightarrow \text{splněno}$$

$$c < \max 0,3 h_c \quad 50 < 0,3 \cdot 280 = 84 \text{ mm} \quad \Rightarrow \text{splněno}$$

$$c > \min 40 \text{ mm} \quad 50 > 40 \text{ mm} \quad \Rightarrow \text{splněno}$$

$$A_{s,1} < \max 0,06 A_c$$

$$3,801 \cdot 10^{-4} < 0,06 \cdot 7,188 \cdot 10^{-2} = 43,128 \cdot 10^{-4} \quad \Rightarrow \text{splněno}$$

6.2.5 POSOUZENÍ ÚNOSNOSTI PRŮŘEZU V TLAKU

$$N_{pl,Rd} = A_a \cdot f_{yd} + 0,85 A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{sd} = 6,525 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3 + 0,85 \cdot 7,188 \cdot 10^{-2} \cdot 16,667 \cdot 10^3 + 1,521 \cdot 10^{-3} = 3995,705 \text{ kN}$$

POSOUZENÍ:

$$\text{Podmínka} \quad N_{Ed} < N_{pl,Rd}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{2353,90}{3995,705} = 0,59 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

6.2.6 POSOUZENÍ NA VZPĚRNÝ TLAK

Účinná ohybová tuhost:

$$(EI)_{eff} = E_a I_a + E_s I_s + K_e E_{cm} I_c \quad (\text{obecný vztah})$$

$$K_e = 0,6$$

kolmo k ose y:

$$(EI)_{eff,y} = 210 \cdot 10^6 \cdot 3,831 \cdot 10^{-5} + 200 \cdot 10^6 \cdot 5,750 \cdot 10^{-9} + 0,6 \cdot 31 \cdot 10^6 \cdot 5,122 \cdot 10^{-4} = 17\,573,418$$

kolmo k ose z:

$$(EI)_{eff,z} = 210 \cdot 10^6 \cdot 1,363 \cdot 10^{-5} + 200 \cdot 10^6 \cdot 5,750 \cdot 10^{-9} + 0,6 \cdot 31 \cdot 10^6 \cdot 5,122 \cdot 10^{-4} = 12\,390,618$$

$$L = 3,70 \text{ m}$$

Kritická síla:

kolmo k ose y:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 (EI)_{eff,y}}{L^2} = \frac{\pi^2 \cdot 17\,573,418}{3,7^2} = 12669,297 \text{ kN}$$

kolmo k ose z:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 (EI)_{eff,z}}{L^2} = \frac{\pi^2 \cdot 12\,390,618}{3,7^2} = 8932,834 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost:

$$N_{pl,Rk} = N_{pl,Rd} \cdot \gamma_{M0} = 3995,705 \cdot 1,0 = 3995,705 \text{ kN}$$

kolmo k ose y:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{N_{pl,Rk}}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{3995,705}{12669,297}} = 0,562$$

kolmo k ose z:

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{N_{pl,Rk}}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{3995,705}{8932,834}} = 0,669$$

=> rozhoduje vybočení kolmo k ose z

=> křivka vzpěrnosti c – součinitel $\alpha_1 = 0,49$

Součinitel vzpěrnosti χ :

$$\begin{aligned} \phi_z &= 0,5 \left[1 + \alpha_1 (\bar{\lambda}_z - 0,2) + (\bar{\lambda}_z)^2 \right] = \\ &= 0,5 [1 + 0,49(0,669 - 0,2) + 0,669^2] = 0,839 \end{aligned}$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - (\bar{\lambda}_z)^2}} = \frac{1}{0,839 + \sqrt{0,839^2 - 0,669^2}} = 0,744$$

POSOUZENÍ

Podmínka: $N_{Ed} < \chi \cdot N_{pl,Rd}$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{pl,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{2353,90}{0,744 \cdot 3995,705} = 0,79 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

6.2.7 POSOUZENÍ ÚNOSNOSTI V OHYBU

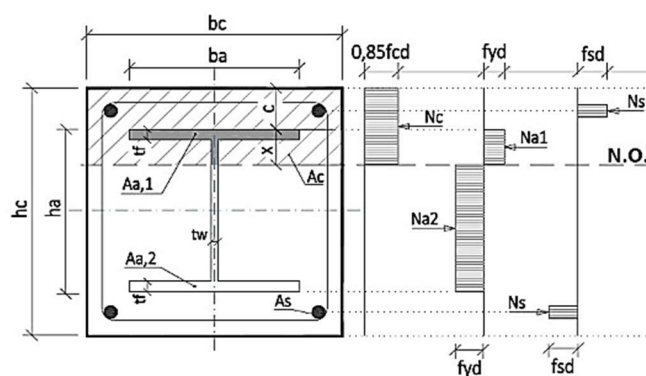
Návrhové pevnosti:

$$f_{yd} = f_y / \gamma_a = 355 / 1,0 = 355 \text{ MPa}$$

$$f_{sd} = f_{sk} / \gamma_s = 500 / 1,15 = 434,78 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = 0,85f_{ck} / \gamma_c = 0,85 \cdot 25 / 1,5 = 16,67 \text{ MPa}$$

Ohyb ve směru stojiny ocelového průřezu:



$$A_c = b_c \cdot (x + c)$$

$$A_{a,1} = t_f \cdot b_a + t_w \cdot (x - t_f)$$

$$A_{a,2} = t_f \cdot b_a + t_w \cdot (h_a - t_f - x)$$

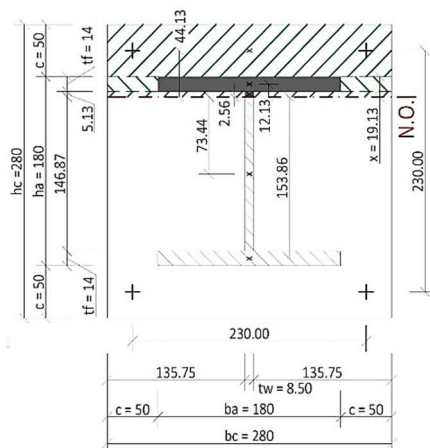
poloha neutrální osy

$$N_c + N_{a1} + N_s = N_{a2} + N_s / -N_s$$

$$N_c + N_{a1} = N_{a2}$$

$$f_{cd} \cdot A_c + f_{yd} \cdot A_{a,1} = f_{yd} \cdot A_{a,2}$$

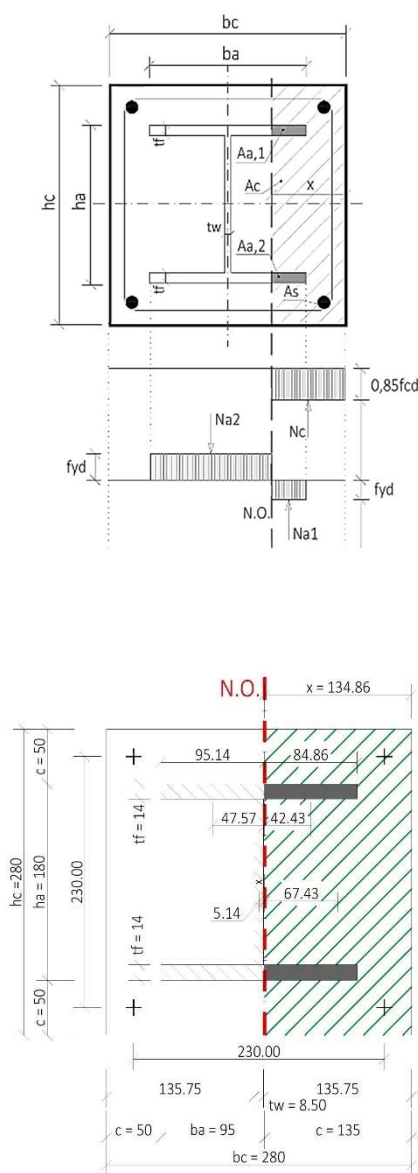
z – vzdálenost těžiště od N.O.



$$\begin{aligned} 16,67 (280 \cdot (x + 50) + 355 [14 \cdot 180 + 8,5(x - 14)]) &= \\ = 355 [14 \cdot 180 + 8,5(180 - 14 - x)] &= \\ \Rightarrow x = 19,13 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_{pl,Rd,y} = f_{cd} \cdot A_c \cdot z_c + f_{yd} \cdot A_a \cdot z_a + f_{sd} \cdot A_s \cdot z_s$$

$$\begin{aligned} M_{pl,Rd,y} &= 16,67 (280 \cdot 50 \cdot 44,13 + 2 \cdot 50 \cdot 14 \cdot 12,13 + \\ &+ 2 \cdot 135,75 \cdot 5,13 \cdot 2,56) + 355 (180 \cdot 14 \cdot 12,13 + 8,5 \cdot 5,13 \cdot 2,56 + \\ &+ 8,5 \cdot 146,87 \cdot 73,44 + 180 \cdot 14 \cdot 153,86) + 434,78 (1,521 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5 \cdot 230) \\ &= 221,72 \text{ kNm} \end{aligned}$$



Ohyb ve směru pásnic ocelového průřezu:

poloha neutrální osy

$$N_c + N_{a1} = N_{a2}$$

$$f_{cd} \cdot A_c + f_{yd} \cdot A_{a,1} = f_{yd} \cdot A_{a,2}$$

$$16,67 (280 \cdot x) + 355 (14 \cdot (x - 50)) = 355 (14 \cdot (x - 50))$$

$$\Rightarrow x = 134,86 \text{ mm}$$

$$M_{pl,Rd,z} = f_{cd} \cdot A_c \cdot z_c + f_{yd} \cdot A_a \cdot z_a + f_{sd} \cdot A_s \cdot z_s$$

$$\begin{aligned} M_{pl,Rd,z} &= 16,67 (280 \cdot 134,86 \cdot 67,43) + 355 (2 \cdot 14 \cdot 84,86 \cdot 42,43 + \\ &\quad + 2 \cdot 14 \cdot 95,14 \cdot 14,57 + (180 - 2 \cdot 14) \cdot 8,5 \cdot 5,14) + \\ &\quad + 434,78 (1,521 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5 \cdot 230) = 124,37 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Zvětšení momentu při vybočení kolmo k ose z:

$$L = 3,7 \text{ m}$$

$$N_{Ed} = -2353,90 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 24,90 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 67,71 \text{ kNm}$$

$$K_0 = 0,9$$

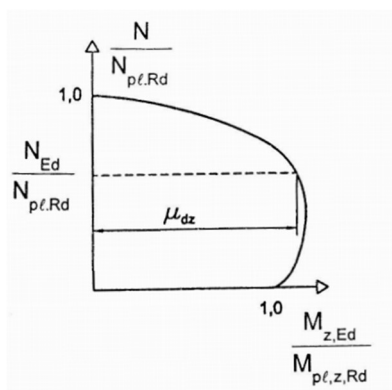
$$K_{e,II} = 0,5$$

$$\begin{aligned} (EI)_{eff,II,z} &= K_0 (E_a I_a + E_s I_s + K_{e,II} E_{cm} I_c) = 0,9 (210 \cdot 10^6 \cdot \\ &\quad 3,831 \cdot 10^{-3} + 200 \cdot 10^6 \cdot 5,75 \cdot 10^{-9} + 0,5 \cdot 31 \cdot 10^6 \cdot 5,122 \cdot 10^{-4}) = \\ &= 9721,49 \end{aligned}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 (EI)_{eff,II,z}}{L^2} = \frac{\pi^2 \cdot 9721,49}{3,7^2} = 7008,57 \text{ kN}$$

$$k = \frac{1}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = \frac{1}{1 - \frac{2353,90}{7008,57}} = 1,506$$

$$M_{z,Ed,II} = k \cdot M_{z,Ed} = 1,506 \cdot 67,71 = 101,97 \text{ kN}$$



Poměr vyjadřující příspěvek oceli na únosnosti spřaženého průřezu:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{2353,90}{3995,705} = 0,589$$

$$\mu_y = 0,732$$

$$\mu_z = 1,028$$

POSOUZENÍ:

$$\text{Podmínka} \quad \frac{M_{y,Ed}}{\mu_y \cdot M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed,II}}{\mu_z \cdot M_{pl,Rd,z}} \leq 1,0$$

$$\frac{24,90}{0,732 \cdot 221,72} + \frac{101,97}{1,028 \cdot 124,37} = 0,95 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

6.2.8 POSOUZENÍ ÚNOSNOSTI PŘI KOMBINACI TLAKU A OHYBU

$$L = 3,7 \text{ m}$$

$$N_{Ed} = -2353,90 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 24,90 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 67,71 \text{ kNm}$$

$$K_0 = 0,5$$

$$K_e = 0,9$$

$$(EI)_{eff,II} = K_0 (E_a I_a + E_s I_s + K_e E_{cm} I_c) = 0,5(210 \cdot 10^6 \cdot 3,831 \cdot 10^{-3} + 200 \cdot 10^6 \cdot 5,75 \cdot 10^{-9} + 0,9 \cdot 31 \cdot 10^6 \cdot 5,122 \cdot 10^{-4}) = 8576,55$$

$$N_{cr,eff} = \frac{\pi^2 (EI)_{eff,II}}{L^2} = \frac{\pi^2 \cdot 8576,55}{3,7^2} = 6183,14 \text{ kN}$$

$$k = \frac{1}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = \frac{1}{1 - \frac{2353,90}{8576,55}} = 1,615$$

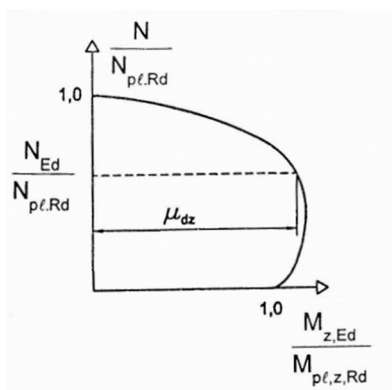
$$\mu_d = 0,732$$

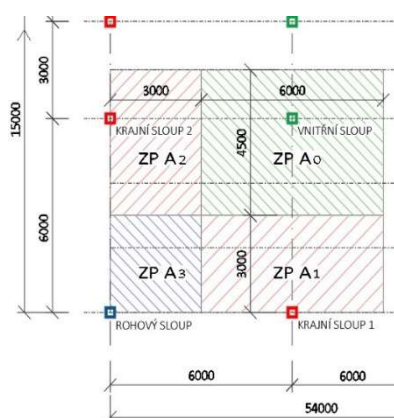
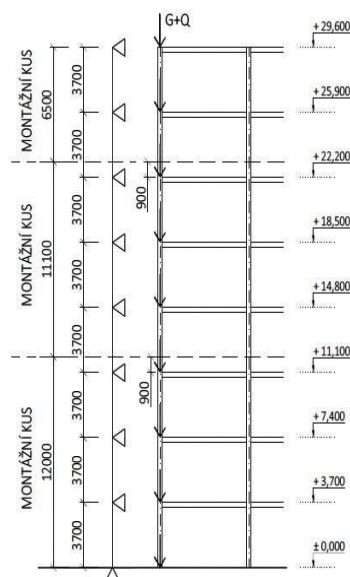
$$M_{pl,Rd} = \min \{M_{pl,Rd,y}; M_{pl,Rd,z}\} = \min \{221,70; 124,37\} = 124,37 \text{ kNm}$$

POSOUZENÍ:

$$\text{Podmínka} \quad \frac{M_{z,Ed}}{\mu_d \cdot M_{pl,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{67,71}{0,732 \cdot 124,37} = 0,74 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$





6.3 NÁVRH A POSOUZENÍ VARIANTY B.2

VAR B.2 – Sloup uvažován jako prostý nosník o vzpěrné délce $L = 3,7$ m, namáhaný tlakem a ohybovým momentem.

Stropní konstrukce uvažována jako spřažená. Sloupy jsou navrhnuté jako ocelové, průřez profilu HEB. Jsou opatřeny ochrannými nátěry.

Každý sloup je tvořen třemi montážními díly o délkách 12,0 m, 11,1 m a 6,5 m. Průřez nebude po výšce odstupňován. Montážní styk bude umístěn 900 mm nad podlahou v 4.NP a 7.NP.

Výpočet je uvažován pro vnitřní sloup.

6.3.1 GEOMETRIE A MATERIÁL

Délka (výška)	L [m]	3,70
Zatěžovací plocha na vnitřní sloup	$ZP A_0$ [m ²]	27,0
Zat. plocha na krajní sloup 1 (v podélném směru)	$ZP A_1$ [m ²]	18,0
Zat. plocha na krajní sloup 2 (v příčném směru)	$ZP A_2$ [m ²]	13,5
Zat. plocha na rohový sloup	$ZP A_3$ [m ²]	9,0

Ocel S355

Mez kluzu – charakteristická	$f_{y,k}$ [MPa]	355
Mez kluzu – návrhová	$f_{y,d} = f_{y,k}/\gamma_M$ [MPa]	355
Pevnost v tahu ($t \leq 40$ mm)	f_u [MPa]	510
Pevnost v tahu ($40 < t \leq 100$ mm)	f_u [MPa]	490
Modul pružnosti v tlaku	E_a [MPa]	210 000
Modul pružnosti ve smyku	G_a [MPa]	81 000
Objemová hmotnost	ρ [kg/ m ³]	7850
Součinitel spolehlivosti materiálu	γ_{M1}	1,15
Součinitel příčné deformace	ν	0,3
Součinitel	$\varepsilon = (235/f_y)^{1/2}$	0,81

Beton C25/30

Pevnost v tlaku – charakteristická	$f_{c,k}$ [MPa]	25
Pevnost v tlaku – návrhová	$f_{c,d} = f_{c,k}/\gamma_M$ [MPa]	16,67
Pevnost v tlaku	f_{cm} [MPa]	33
Střední pevnost v tahu	f_{ctm} [MPa]	2,6
Pevnost v tahu (dolní hodnota)	$f_{ctk, 0,05}$ [MPa]	1,8
Modul pružnosti	E_{cm} [MPa]	31 000
Objemová hmotnost – čerstvý beton	ρ_1 [kg/ m ³]	2 600
Objemová hmotnost – ztvrdlý beton	ρ [kg/ m ³]	2 500
Součinitel spolehlivosti materiálu	γ_M	1,5
Přetvoření betonu	ε_{cu1} [‰]	3,5

Ocel B500B

Mez kluzu – charakteristická	$f_{s,k}$ [MPa]	500
Mez kluzu – návrhová	$f_{s,d} = f_{s,k}/\gamma_s$ [MPa]	437,78
Pevnost v tahu	$f_{t,k}$ [MPa]	550
Součinitel spolehlivosti materiálu	γ_s	1,15

6.3.2 VNITŘNÍ SÍLY

Hodnoty převzaty z výpočtového programu SCIA Engineer.

Vnitřní síly na prutu - VNITŘNÍ SLOUP

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
Výběr : Vše
Třída : RC1_kombinace

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
SI145	Sloup1 - HEB320	0,000	CO24/8	-2353,90	0,05	1,17	0,00	-3,47	-0,11
SI96	Sloup1 - HEB320	3,700	CO5/1	-142,38	1,75	-1,21	0,01	0,00	0,00
SI121	Sloup1 - HEB320	0,000	CO10/7	-2291,90	-14,25	-0,77	0,00	3,83	67,71
SI200	Sloup1 - HEB320	0,000	CO13/5	-185,06	2,72	0,08	0,00	-0,31	-10,06
SI145	Sloup1 - HEB320	0,000	CO5/1	-1397,76	-8,80	-5,83	0,01	24,90	38,50
SI89	Sloup1 - HEB320	0,000	CO5/1	-1397,76	-8,80	5,83	-0,01	-24,90	38,50
SI170	Sloup1 - HEB320	0,000	CO20/2	-2026,11	-3,27	-2,59	-0,02	6,51	5,98
SI226	Sloup1 - HEB320	0,000	CO20/2	-2026,11	-3,27	2,59	0,02	-6,51	5,98
SI115	Sloup1 - HEB320	3,700	CO5/1	-1039,08	-1,78	0,12	0,00	0,97	-16,60

$$N_{Ed,vnitřní} = 2353,90 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed,vnitřní} = 24,90 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed,vnitřní} = 67,71 \text{ kNm}$$

Vnitřní síly na prutu - KRAJNÍ SLOUP

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
Výběr : Vše
Třída : RC1_kombinace

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
SI65	Sloup1 - HEB320	0,000	CO24/8	-1648,47	6,57	2,33	0,00	-5,84	-4,39
SI8	Sloup1 - HEB320	3,700	CO5/1	-34,44	4,03	-6,38	0,02	0,00	0,00
SI41	Sloup1 - HEB320	0,000	CO20/2	-1618,46	-24,60	-0,39	0,00	1,13	74,43
SI16	Sloup1 - HEB320	0,000	CO18/9	-149,06	16,50	-0,09	0,00	0,31	-10,45
SI153	Sloup1 - HEB320	0,000	CO5/1	-389,96	-0,03	-18,85	0,00	36,89	0,13
SI81	Sloup1 - HEB320	0,000	CO5/1	-389,96	-0,03	18,85	0,00	-36,89	0,13
SI2	Sloup1 - HEB320	0,000	CO5/1	-292,17	-5,02	7,52	-0,03	-3,88	2,97
SI74	Sloup1 - HEB320	0,000	CO5/1	-292,17	-5,02	-7,52	0,03	3,88	2,97
SI36	Sloup1 - HEB320	1,850	CO5/1	-622,59	0,37	0,00	0,00	0,08	-19,06

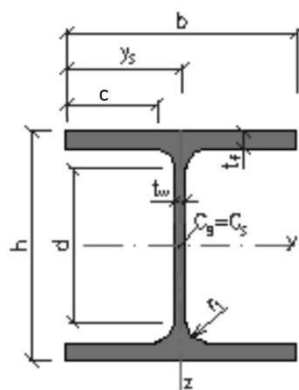
$$N_{Ed,krajní} = 1648,47 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed,krajní} = 36,89 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed,krajní} = 74,43 \text{ kNm}$$

6.3.3 PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

HEB 320



$$h = 320 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$t_f = 20,5 \text{ mm}$$

$$t_w = 11,5 \text{ mm}$$

$$r_1 = 27 \text{ mm}$$

$$y_s = 150 \text{ mm}$$

$$d = 225 \text{ mm}$$

$$c = 123 \text{ mm}$$

$$g = 127 \text{ kg/m}$$

A [m ²]	1,6130e-02	Wely [m ³]	1,9260e-03
Ay [m ²]	1,1813e-02	Welz [m ³]	6,1590e-04
Az [m ²]	3,9264e-03	Wply [m ³]	2,1490e-03
AL [m ² /m]	1,7700e+00	Wplz [m ³]	9,3910e-04
AD [m ² /m]	1,7704e+00	Mply+ [Nm]	7,64e+05
cYUSS [mm]	150	Mply- [Nm]	7,64e+05
cZUSS [mm]	160	Mplz+ [Nm]	3,33e+05
α [deg]	0,00	Mplz- [Nm]	3,33e+05
Iy [m ⁴]	3,0820e-04	dy [mm]	0
Iz [m ⁴]	9,2390e-05	dz [mm]	0
iy [mm]	138	It [m ⁴]	2,2510e-06
iz [mm]	76	Iw [m ⁶]	2,0687e-06

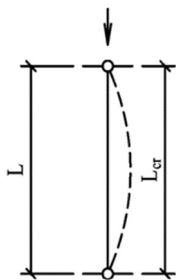
Zatřídění průřezu:

$$\text{stojina } d/t_w = 225/11,5 = 19,57 < 33 \cdot \epsilon = 33 \cdot 0,81 = 26,85$$

=> Třída 1

$$\text{pásnice } c/t_f = 123/20,5 = 6,0 < 9 \cdot \epsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29$$

=> Třída 1



Vzpěrné délky:

$$\beta = 1,0$$

$$L = 3700 \text{ mm}$$

$$L_{cr} = L \cdot \beta = 3700 \cdot 1,0 = 3700 \text{ mm}$$

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L_{cr,w} = 3700 \text{ mm}$$

6.3.4 POSOUZENÍ VNITŘNÍHO SLOUPU

Hodnoty vnitřních sil ze SCIA Engineer pro vnitřní sloup.

$$N_{Ed} = 2353,90 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 24,90 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 67,71 \text{ kNm}$$

6.3.4.1 POSOUZENÍ ÚNOSNOSTI NA ROVINNÝ A PROSTOROVÝ VZPĚR

Kritická štíhlost:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{3,70}{0,138} = 26,812$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3,70}{0,076} = 48,684$$

$$I_p = I_y + I_z + A \cdot a^2 = 3,082 \cdot 10^{-4} + 9,24 \cdot 10^{-5} + 1,613 \cdot 10^{-2} \cdot 0^2 = 4,006 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$\lambda_w = \sqrt{\frac{I_p}{\frac{I_w}{L_{cr,w}^2} + \frac{I_t}{25}}} = \sqrt{\frac{4,006 \cdot 10^{-4}}{\frac{2,069 \cdot 10^{-6}}{3,7^2} + \frac{2,251 \cdot 10^{-6}}{25}}} = 40,757$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda_1 = 93,9 \quad \varepsilon = 93,9 \cdot 0,814 = 76,399$$

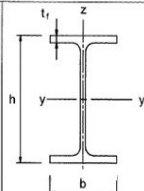
$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{26,812}{76,399} = 0,351$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{48,684}{76,399} = 0,637$$

$$\bar{\lambda}_w = \frac{\lambda_w}{\lambda_1} = \frac{40,757}{76,399} = 0,533$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

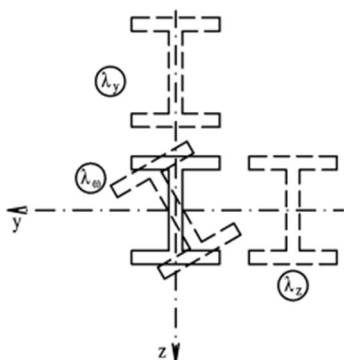
Tabulka 6.2 – Přiřazení křivek vzpěrné pevnosti k průřezům

Průřez	Meze	Vybočení kolmo k ose	Křivka vzpěrné pevnosti	
			S235 S275 S355 S420	S460
	$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y z-z	a a ₀
		$40 \text{ mm} < t_f$	y-y z-z	b a
		$t_f \leq 100 \text{ mm}$	y-y z-z	c a
		$t_f > 100 \text{ mm}$	y-y z-z	d c
	$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100 \text{ mm}$	y-y z-z	b a
		$t_f > 100 \text{ mm}$	y-y z-z	d c

Doporučení pro volbu křivky klopení je uvedeno v tabulce 6.5.

Tabulka 6.5 – Doporučené přiřazení křivek klopení

Průřez	Meze	Křivka klopení
Válcované I průřezy	$h/b \leq 2$ $h/b > 2$	b c
Svařované I průřezy	$h/b \leq 2$ $h/b > 2$	c d



Přiřazení křivky vzpěrnosti

$$h/b = 320/300 = 1,07 < 1,2 < 2,0$$

$$t_f = 20,5 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

pro vybočení kolmo k ose:

$$y-y \Rightarrow b \quad \alpha_1 = 0,34$$

$$z-z \Rightarrow c \quad \alpha_1 = 0,49$$

$$w \Rightarrow b \quad \alpha_1 = 0,34$$

$$\text{pro } \alpha_{LT} \Rightarrow b \quad \alpha_1 = 0,34$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\begin{aligned} \phi_y &= 0,5[1 + \alpha_1(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = \\ &= 0,5[1 + 0,34(0,351 - 0,2) + 0,351^2] = 0,587 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi_z &= 0,5[1 + \alpha_1(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = \\ &= 0,5[1 + 0,49(0,637 - 0,2) + 0,637^2] = 0,777 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi_w &= 0,5[1 + \alpha_1(\bar{\lambda}_w - 0,2) + \bar{\lambda}_w^2] = \\ &= 0,5[1 + 0,34(0,533 - 0,2) + 0,533^2] = 0,699 \end{aligned}$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,587 + \sqrt{0,587^2 - 0,351^2}} = 0,945$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,777 + \sqrt{0,777^2 - 0,637^2}} = 0,818$$

$$\chi_w = \frac{1}{\phi_w + \sqrt{\phi_w^2 - \bar{\lambda}_w^2}} = \frac{1}{0,699 + \sqrt{0,699^2 - 0,533^2}} = 0,869$$

$$\chi = \min \{\chi_y; \chi_z; \chi_w\} = \min \{0,945; 0,818; 0,869\} \Rightarrow \chi_z = 0,818$$

Vzpěrná únosnost:

$$N_{b,Rd} = \chi_z \cdot \frac{A_a \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,818 \cdot \frac{1,613 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 4683,991 \text{ kN}$$

POSOUZENÍ:

Podmínka

$$N_{Ed} < N_{b,Rd}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{2353,9}{4683,99} = 0,50 \leq 1,0$$

=> VYHOVUJE

6.3.4.2 POSOUZENÍ ÚNOSNOSTI NA KOMBINACI TLAKU A OHYBU

Součinitele závisející na uložení zatížení:

$$C_{1,0} = 1,77 \quad C_{1,1} = 1,85$$

$$k_w = 1,0 \quad k_z = 1,0$$

$$a_h = 0,0 \quad \alpha_{LT} = 0,34$$

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) = 1,77 + (1,85 - 1,77) = 1,85$$

$$C_{my} = C_{mz} = C_{m,LT} = 0,95 + 0,1 \cdot a_h = 0,95 + 0,1 \cdot 0,0 = 0,95$$

Parametr kroucení:

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = \frac{\pi}{1,0} \sqrt{\frac{210 \cdot 10^6 \cdot 2,069 \cdot 10^{-6}}{81 \cdot 10^6 \cdot 2,251 \cdot 10^{-6}}} = 1,311$$

Kritický moment:

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2} = \frac{1,85}{1,0} \sqrt{1 + 1,311^2} = 3,05$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 3,05 \frac{\pi \sqrt{210 \cdot 10^6 \cdot 9,239 \cdot 10^{-5} \cdot 81 \cdot 10^6 \cdot 2,251 \cdot 10^{-6}}}{3,7} = 4870,513 \text{ kNm}$$

$$\chi_{LT} \leq 1,0$$

$$\leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{0,396^2} = 6,37$$

Interakční součinitele k_{ii} pro pruty, které jsou náchylné ke zkroucení

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \leq C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zz} = C_{mz} \left(1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \leq C_{mz} \left(1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yz} = 0,6 k_{zz}$$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1\bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right] \geq \left[1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$$

$$\text{pro } \bar{\lambda}_z < 0,4 \Rightarrow 0,637 < 0,4$$

Hodnoty pro výpočet:

$$\bar{\lambda}_y = 0,351 \quad \bar{\lambda}_z = 0,637$$

$$\chi_y = 0,945 \quad \chi_z = 0,818$$

$$C_{my} = C_{mz} = C_{m,LT} = 0,95$$

$$N_{Ed} = 2353,90 \text{ kN}$$

$$N_{Rk} = 5726,15 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 24,90 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Rk} = 762,89 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 67,71 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = 333,38 \text{ kNm}$$

$$\gamma_{M1} = 1,0$$

Poměrná štíhlost a součinitel klopení:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2,149 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{4870,513}} = 0,396$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 [1 + 0,34(0,396 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,396^2] = 0,568$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,558 + \sqrt{0,558^2 - 0,396^2}} = 0,979$$

Únosnost:

$$N_{Rk} = A_a \cdot f_y = 1,613 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^3 = 5726,15 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 2,149 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3 = 762,89 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \cdot f_y = 9,391 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3 = 333,38 \text{ kNm}$$

Interakční součinitele:

$$k_{yy} = 0,95 \left[1 + (0,351 - 0,2) \frac{2353,9}{0,945 \cdot 5726,15 / 1,0} \right] = 1,012$$

$$\leq 0,95 \left[1 + 0,8 \frac{2353,9}{0,945 \cdot 5726,15 / 1,0} \right] = 1,281$$

$$k_{zz} = 0,95 \left[1 + (2 \cdot 0,637 - 0,6) \frac{2353,9}{0,818 \cdot 5726,15 / 1,0} \right] = 1,272$$

$$\leq 0,95 \left[1 + 1,4 \frac{2353,9}{0,818 \cdot 5726,15 / 1,0} \right] = 1,618$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot 1,272 = 0,763$$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1 \cdot 0,637}{(0,95 - 0,25)} \cdot \frac{2353,9}{0,818 \cdot 5726,15 / 1,0} \right] = 0,406$$

$$\geq \left[1 - \frac{0,1}{(0,95 - 0,25)} \cdot \frac{2353,9}{0,818 \cdot 5726,15 / 1,0} \right] = 0,355$$

POSOUZENÍ:

Podmínka 1

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{2353,90}{\frac{0,945 \cdot 5726,15}{1,0}} + 1,012 \frac{24,90}{\frac{0,979 \cdot 762,89}{1,0}} + 0,763 \frac{67,71}{\frac{333,38}{1,0}} = 0,623 \leq 1,0$$

=> VYHOVUJE

Podmínka 2

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{2353,90}{\frac{0,818 \cdot 5726,15}{1,0}} + 0,406 \frac{24,90}{\frac{0,979 \cdot 762,89}{1,0}} + 1,272 \frac{67,71}{\frac{333,38}{1,0}} = 0,745 \leq 1,0$$

=> VYHOVUJE

6.3.5 POSOUZENÍ KRAJNÍHO SLOUPU

Hodnoty vnitřních sil ze SCIA Engineer pro krajní sloup v podélném směru.

$$N_{Ed} = 1648,47 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 36,89 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 74,43 \text{ kNm}$$

6.3.5.1 POSOUZENÍ ÚNOSNOSTI NA ROVINNÝ A PROSTOROVÝ VZPĚR

Kritická štíhlost:

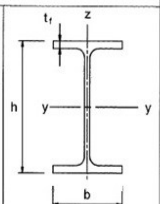
$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{3,70}{0,138} = 26,812$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3,70}{0,076} = 48,684$$

$$I_p = I_y + I_z + A \cdot a^2 = 3,082 \cdot 10^{-4} + 9,24 \cdot 10^{-5} + 1,613 \cdot 10^{-2} \cdot 0^2 = 4,006 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$\lambda_w = \sqrt{\frac{I_p}{\frac{I_w}{L_{cr,w}^2} + \frac{I_t}{25}}} = \sqrt{\frac{4,006 \cdot 10^{-4}}{\frac{2,069 \cdot 10^{-6}}{3,7^2} + \frac{2,251 \cdot 10^{-6}}{25}}} = 40,757$$

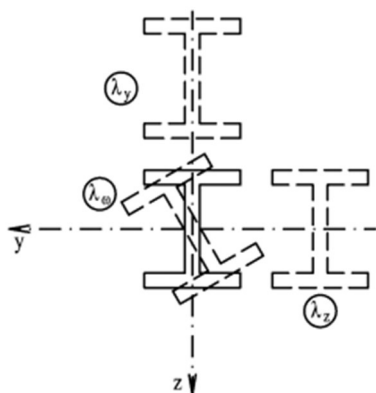
Tabulka 6.2 – Přiřazení křivek vzpěrné pevnosti k průřezům

Průřez	Meze	Vybočení kolmo k ose	Křivka vzpěrné pevnosti	
			S235 S275 S355 S420	S460
	$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y z-z	a a ₀
		$40 \text{ mm} < t_f$ $t_f \leq 100 \text{ mm}$	y-y z-z	b a
	$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100 \text{ mm}$	y-y z-z	b c
		$t_f > 100 \text{ mm}$	y-y z-z	d c
	$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y z-z	a a ₀
		$40 \text{ mm} < t_f$ $t_f \leq 100 \text{ mm}$	y-y z-z	b a

Doporučení pro volbu křivky klopení je uvedeno v tabulce 6.5.

Tabulka 6.5 – Doporučené přiřazení křivek klopení

Průřez	Meze	Křivka klopení
Válcované I průřezy	$h/b \leq 2$	b
	$h/b > 2$	c
Svařované I průřezy	$h/b \leq 2$	c
	$h/b > 2$	d



Poměrná štíhlost:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

$$\lambda_1 = 93,9 \varepsilon = 93,9 \cdot 0,814 = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{26,812}{76,399} = 0,351$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{48,684}{76,399} = 0,637$$

$$\bar{\lambda}_w = \frac{\lambda_w}{\lambda_1} = \frac{40,757}{76,399} = 0,533$$

Přiřazení křivky vzpěrnosti:

$$h/b = 320/300 = 1,07 < 1,2 < 2,0$$

$$t_f = 20,5 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

pro vybočení kolmo k ose:

$$y-y \Rightarrow b \quad \alpha_1 = 0,34$$

$$z-z \Rightarrow c \quad \alpha_1 = 0,49$$

$$w \Rightarrow b \quad \alpha_1 = 0,34$$

$$\text{pro } \alpha_{LT} \Rightarrow b \quad \alpha_1 = 0,34$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\begin{aligned} \phi_y &= 0,5[1 + \alpha_1(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = \\ &= 0,5[1 + 0,34(0,351 - 0,2) + 0,351^2] = 0,587 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi_z &= 0,5[1 + \alpha_1(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = \\ &= 0,5[1 + 0,49(0,637 - 0,2) + 0,637^2] = 0,777 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi_w &= 0,5[1 + \alpha_1(\bar{\lambda}_w - 0,2) + \bar{\lambda}_w^2] = \\ &= 0,5[1 + 0,34(0,533 - 0,2) + 0,533^2] = 0,699 \end{aligned}$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{0,587 + \sqrt{0,587^2 - 0,351^2}} = 0,945$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{0,777 + \sqrt{0,777^2 - 0,637^2}} = 0,818$$

$$\chi_w = \frac{1}{\phi_w + \sqrt{\phi_w^2 - \lambda_w^2}} = \frac{1}{0,699 + \sqrt{0,699^2 - 0,533^2}} = 0,869$$

$$\chi = \min \{\chi_y; \chi_z; \chi_w\} = \min \{0,945; 0,818; 0,869\} \Rightarrow \chi_z = 0,818$$

Vzpěrná únosnost:

$$N_{b,Rd} = \chi_z \cdot \frac{A_a \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,818 \cdot \frac{1,613 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 4683,99 \text{ kN}$$

POSOUZENÍ:

Podmínka

$$N_{Ed} < N_{b,Rd}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{1648,47}{4683,99} = 0,35 \leq 1,0$$

=> VYHOVUJE

6.3.5.2 POSOUZENÍ ÚNOSNOSTI NA KOMBINACI TLAKU A OHYBU

Součinitele závislé na uložení zatížení:

$$C_{1,0} = 1,77 \quad C_{1,1} = 1,85$$

$$k_w = 1,0 \quad k_z = 1,0$$

$$a_h = 0,0 \quad \alpha_{LT} = 0,34$$

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) = 1,77 + (1,85 - 1,77) = 1,85$$

$$C_{my} = C_{mz} = C_{m,LT} = 0,95 + 0,1 \cdot a_h = 0,95 + 0,1 \cdot 0,0 = 0,95$$

Parametr kroucení:

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w} \sqrt{\frac{EI_w}{G I_t}} = \frac{\pi}{1,0} \sqrt{\frac{210 \cdot 10^6 \cdot 2,069 \cdot 10^{-6}}{81 \cdot 10^6 \cdot 2,251 \cdot 10^{-6}}} = 1,311$$

Kritický moment:

$$\mu_{cr} = \frac{c_1}{k_z} \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2} = \frac{1,85}{1,0} \sqrt{1 + 1,311^2} = 3,05$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 3,05 \frac{\pi \sqrt{210 \cdot 10^6 \cdot 9,239 \cdot 10^{-5} \cdot 81 \cdot 10^6 \cdot 2,251 \cdot 10^{-6}}}{3,7} =$$

$$= 4870,513 \text{ kNm}$$

Poměrná štíhlost a součinitel klopení:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2,149 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{4870,513}} = 0,396$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] =$$

$$= 0,5 [1 + 0,34(0,396 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,396^2] = 0,568$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,558 + \sqrt{0,558^2 - 0,396^2}} = 0,979$$

$$\chi_{LT} \leq 1,0$$

$$\leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{0,396^2} = 6,37$$

Únosnost:

$$N_{Rk} = A_a \cdot f_y = 1,613 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^3 = 5726,15 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 2,149 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3 = 762,89 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \cdot f_y = 9,391 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3 = 333,38 \text{ kNm}$$

Interakční součinitele k_{ii} pro pruty, které jsou náchylné ke zkroucení

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \leq C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zz} = C_{mz} \left(1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \leq C_{mz} \left(1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yz} = 0,6 k_{zz}$$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1\bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right] \geq \left[1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$$

pro $\bar{\lambda}_z < 0,4 \Rightarrow 0,637 < 0,4$

Hodnoty pro výpočet:

$$\bar{\lambda}_y = 0,351 \quad \bar{\lambda}_z = 0,637$$

$$\chi_y = 0,945 \quad \chi_z = 0,818$$

$$C_{my} = C_{mz} = C_{mLT} = 0,95$$

$$N_{Ed} = 1648,47 \text{ kN}$$

$$N_{Rk} = 5726,15 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 36,89 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Rk} = 762,89 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 74,43 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = 333,38 \text{ kNm}$$

$$\gamma_{M1} = 1,0$$

Interakční součinitele:

$$k_{yy} = 0,95 \left[1 + (0,351 - 0,2) \frac{1648,47}{0,945 \cdot 5726,15 / 1,0} \right] = 0,994$$

$$\leq 0,95 \left[1 + 0,8 \frac{1648,47}{0,945 \cdot 5726,15 / 1,0} \right] = 1,182$$

$$k_{zz} = 0,95 \left[1 + (2 \cdot 0,637 - 0,6) \frac{1648,47}{0,818 \cdot 5726,15 / 1,0} \right] = 1,176$$

$$\leq 0,95 \left[1 + 1,4 \frac{1648,47}{0,818 \cdot 5726,15 / 1,0} \right] = 1,418$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot 1,176 = 0,705$$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,1 \cdot 0,637}{(0,95 - 0,25)} \cdot \frac{1648,47}{0,818 \cdot 5726,15 / 1,0} \right] = 0,557$$

$$\geq \left[1 - \frac{0,1}{(0,95 - 0,25)} \cdot \frac{1648,47}{0,818 \cdot 5726,15 / 1,0} \right] = 0,505$$

POSOUZENÍ:

Podmínka 1
$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{1648,47}{\frac{0,945 \cdot 5726,15}{1,0}} + 0,994 \frac{36,89}{\frac{0,979 \cdot 762,89}{1,0}} + 0,705 \frac{74,43}{\frac{333,38}{1,0}} = 0,510 \leq 1,0$$

=> VYHOVUJE

Podmínka 2
$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{1648,47}{\frac{0,818 \cdot 5726,15}{1,0}} + 0,557 \frac{36,89}{\frac{0,979 \cdot 762,89}{1,0}} + 1,176 \frac{74,43}{\frac{333,38}{1,0}} = 0,621 \leq 1,0$$

=> VYHOVUJE

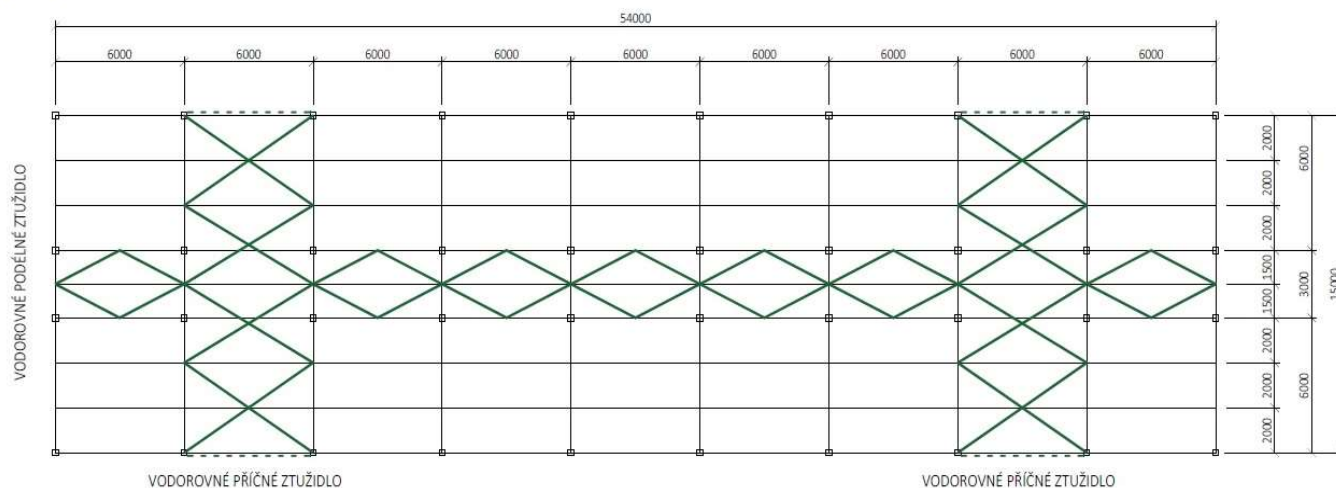
Pozn.: Pro krajní sloupy by mohl být navrhnut také menší průřez, ale z důvodu bezpečné rezervy pro přetížení stěnových ztužidel jsem navrhla pro všechny sloupy jednotný průřez.

7 NÁVRH ZTUŽIDEL

7.1 ZATÍŽENÍ VODOROVNÉHO ZTUŽIDLA

7.1.1 SCHÉMA GEOMETRIE VODOROVNÝCH ZTUŽIDEL

PŮDORYS



7.1.2 ZATÍŽENÍ VODOROVNÝCH ZTUŽIDEL VĚTREM

TŘENÍ VĚTRU

ČSN EN 1991-1-4

(4) Účinky tření větru na povrchu lze zanedbat, jestliže celková plocha všech povrchů rovnoběžných se směrem větru (nebo odkloněných o malý úhel od tohoto směru), je rovna nebo menší než čtyřnásobek celkové plochy všech vnějších povrchů, kolmých k větru (návětrných a závětrných).

$$A1 + A2 \leq 4 \times (A3 + A4)$$

$$444,0 + 444,0 \leq 4 \times (1598,4 + 1598,4)$$

$$888,0 \text{ m}^2 \leq 12787,0 \text{ m}^2 \Rightarrow \text{Tření větru na povrchu lze zanedbat}$$

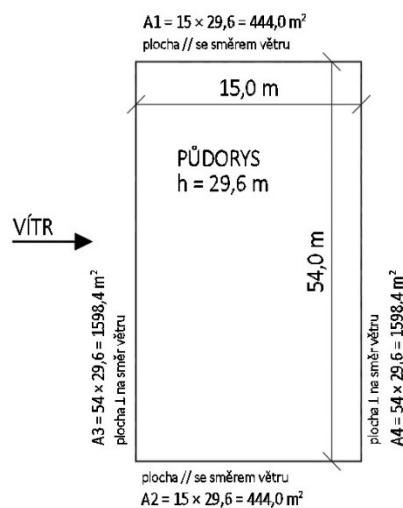
TLAK A SÁNÍ VĚTRU

Návětrná stěna (tlak): $w_{e,D} = + 0,610 \text{ kN/m}^2$

Závětrná stěna (sání): $w_{e,E} = - 0,420 \text{ kN/m}^2$

Celkový účinek větru $q_{w,k} = 0,610 + |- 0,420| = 1,03 \text{ kN/m}^2$

Délka objektu = zatěžovací šířka = 54 m



Zatěžovací výšky pro jednotlivá podlaží:

$$\text{Přízemí} = 3,7/2 = 1,85 \text{ m}$$

$$\text{Běžné podlaží} = 3,7 \text{ m}$$

$$\text{Střecha} = 3,7/2 = 1,85 \text{ m}$$

Síly od tlaku a sání větru:

$$F_{w,1,k} = 1,03 \times 54 \times 1,85 = 102,897 \text{ kN}$$

$$F_{w,2,k} = 1,03 \times 54 \times 3,7 = 205,794 \text{ kN}$$

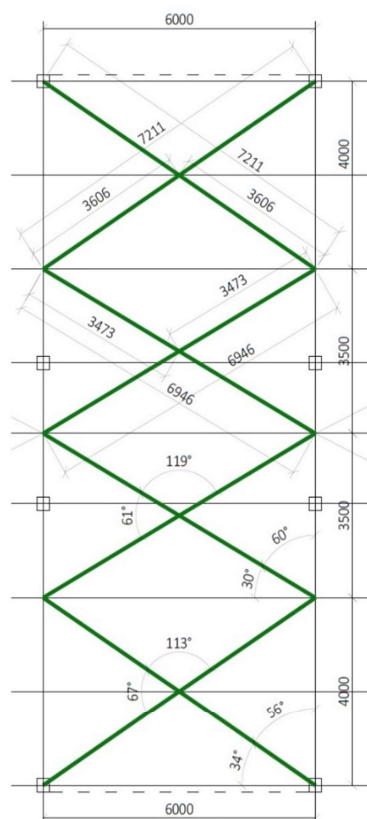
$$F_{w,3,k} = 1,03 \times 54 \times 1,85 = 102,897 \text{ kN}$$

7.2 VODOROVNÉ ZTUŽIDLO V PŘÍČNÉM SMĚRU

7.2.1 GEOMETRIE A MATERIÁL

Uvažováno jako prostý nosník kloubově uložený, podepřený stěnovým ztužidlem. Zatížený tlakem a sáním větru.

VODOROVNÉ PŘÍČNÉ ZTUŽIDLO



Ocel S355

Mez kluzu – charakteristická	$f_{y,k}$ [MPa]	355
Mez kluzu – návrhová	$f_{y,d} = f_{y,k}/\gamma_M$ [MPa]	355
Pevnost v tahu ($t \leq 40$ mm)	f_u [MPa]	510
Pevnost v tahu ($40 < t \leq 100$ mm)	f_u [MPa]	490
Modul pružnosti v tlaku	E_a [MPa]	210 000
Modul pružnosti ve smyku	G_a [MPa]	81 000
Objemová hmotnost	ρ [kg/ m ³]	7850
Součinitel spolehlivosti materiálu	γ_M	1,0
Součinitel příčné deformace	ν	0,3
Součinitel	$\varepsilon = (235/f_y)^{1/2}$	0,81

7.2.2 VNITŘNÍ SÍLY

Vnitřní síly byly převzaty z výpočtového programu Scia Engineer.

Vnitřní síly na prutu

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní

Výběr : Vše

Třída : RC1_kombinace

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
ZtPr76	Ztuzidlo Pricne - 2LT	0,000	CO19/3	-36,36	-0,09	0,46	0,02	0,00	0,55
ZtPr68	Ztuzidlo Pricne - 2LT	0,000	CO13/5	34,07	0,05	0,46	0,01	0,00	-0,37
ZtPr77	Ztuzidlo Pricne - 2LT	0,000	CO5/1	25,09	-0,10	0,46	-0,01	0,00	0,12
ZtPr70	Ztuzidlo Pricne - 2LT	0,000	CO5/1	25,09	0,10	0,46	0,01	0,00	-0,12
ZtPr2	Ztuzidlo Pricne - 2LT	7,211	CO1/10	2,04	0,00	-0,47	0,01	0,00	0,00
ZtPr2	Ztuzidlo Pricne - 2LT	0,000	CO1/10	2,04	0,00	0,47	0,01	0,00	0,00
ZtPr1	Ztuzidlo Pricne - 2LT	0,000	CO10/7	5,20	0,00	0,47	-0,02	0,00	0,00
ZtPr10	Ztuzidlo Pricne - 2LT	0,000	CO10/7	5,20	0,00	0,47	0,02	0,00	-0,03
ZtPr2	Ztuzidlo Pricne - 2LT	0,000	CO8/11	3,23	0,00	0,47	0,02	0,00	0,00
ZtPr2	Ztuzidlo Pricne - 2LT	3,606	CO1/10	2,04	0,00	0,00	0,01	0,85	0,00
ZtPr77	Ztuzidlo Pricne - 2LT	6,946	CO5/1	25,09	-0,10	-0,46	-0,01	0,00	-0,55
ZtPr70	Ztuzidlo Pricne - 2LT	6,946	CO5/1	25,09	0,10	-0,46	0,01	0,00	0,55

$$N_{Ed,tlak} = -36,36 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,tah} = 34,07 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 0,10 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 0,47 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 0,85 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,55 \text{ kNm}$$

7.2.3 PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

L 50x50x5

Geometrie		Průřezové charakteristiky k lokálním osám	Osa y	Osa z
			$I_y = 1.10E+5 \text{ mm}^4$	$I_z = 1.10E+5 \text{ mm}^4$
			$W_{y1} = 3049 \text{ mm}^3$	$W_{z3} = 3049 \text{ mm}^3$
			$W_{y2} = 7811 \text{ mm}^3$	$W_{z2} = 7811 \text{ mm}^3$
			$i_y = 15.1 \text{ mm}$	$i_z = 15.1 \text{ mm}$
		Průřezové charakteristiky k hlavním osám	Osa u	Osa v
$b = 50 \text{ mm}$	$A = 480.3 \text{ mm}^2$		$I_u = 1.74E+5 \text{ mm}^4$	$I_v = 4.52E+4 \text{ mm}^4$
$t = 5 \text{ mm}$	$G = 3.77 \text{ kg.m}^{-1}$		$W_{u1} = 4925 \text{ mm}^3$	$W_{v2} = 2275 \text{ mm}^3$
$r_1 = 7 \text{ mm}$	$A_L = 0.194 \text{ m}^2.\text{m}^{-1}$		$i_u = 19 \text{ mm}$	$W_{v3} = 2567 \text{ mm}^3$
$r_2 = 3.5 \text{ mm}$	$v = 35.4 \text{ mm}$		$u_m = 16.3 \text{ mm}$	$i_v = 9.7 \text{ mm}$
$y_s = 14 \text{ mm}$	$u_1 = 19.9 \text{ mm}$	Kroucení a klopení	$I_t = 4065 \text{ mm}^4$	$i_{pc} = 21.4 \text{ mm}$
$y'_s = 36 \text{ mm}$	$u_2 = 17.6 \text{ mm}$		$I_{yz} = 6.45E+4 \text{ mm}^4$	$i_{pa} = 26.9 \text{ mm}$

7.2.4 POSOUZENÍ MSÚ - TAH

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{4,803 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 170,507 \text{ kN}$$

POSOUZENÍ:

Podmínka $N_{Ed,tah} < N_{pl,Rd}$

$$\frac{N_{Ed,tah}}{N_{pl,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{34,07}{170,507} = 0,21 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

7.3 VODOROVNÉ ZTUŽIDLO V PODÉLNÉM SMĚRU

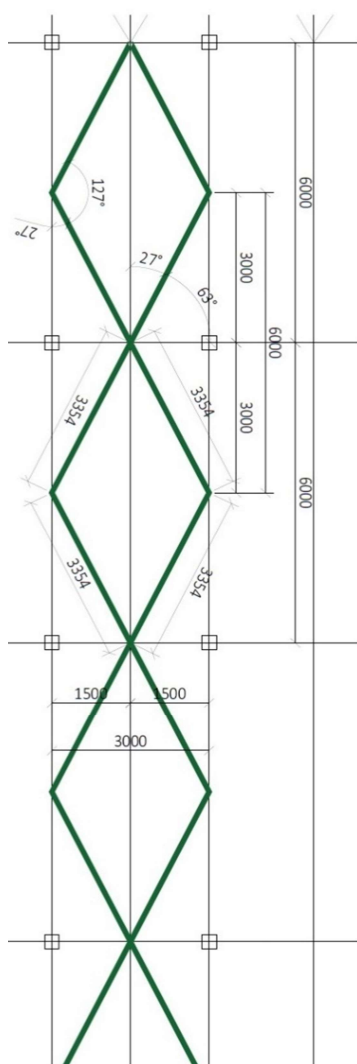
7.3.1 GEOMETRIE A MATERIÁL

Uvažováno jako prostý nosník kloubově uložený, podepřený stěnovým ztužidlem. Zatížený tlakem a sáním větru.

Ocel S355

Mez kluzu – charakteristická	$f_{y,k}$ [MPa]	355
Mez kluzu – návrhová	$f_{y,d} = f_{y,k}/\gamma_M$ [MPa]	355
Pevnost v tahu ($t \leq 40$ mm)	f_u [MPa]	510
Pevnost v tahu ($40 < t \leq 100$ mm)	f_u [MPa]	490
Modul pružnosti v tlaku	E_a [MPa]	210 000
Modul pružnosti ve smyku	G_a [MPa]	81 000
Objemová hmotnost	ρ [kg/ m ³]	7850
Součinitel spolehlivosti materiálu	γ_M	1,0
Součinitel příčné deformace	ν	0,3
Součinitel	$\varepsilon = (235/f_y)^{1/2}$	0,81

VODOROVNÉ PODÉLNÉ ZTUŽIDLO



7.3.2 VNITŘNÍ SÍLY

Vnitřní síly převzaty z výpočtového programu Scia Engineer.

Vnitřní síly na prutu

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní
Výběr : Vše
Třída : RC1_kombinace

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
ZtPo148	Ztuzidlo Podelné - 2LT	0,000	CO19/3	-153,50	0,21	0,22	0,00	0,00	-0,51
ZtPo146	Ztuzidlo Podelné - 2LT	0,000	CO19/3	153,30	0,36	0,22	0,00	0,00	-0,55
ZtPo179	Ztuzidlo Podelné - 2LT	0,000	CO19/3	-143,40	-0,37	0,22	0,00	0,00	0,69
ZtPo145	Ztuzidlo Podelné - 2LT	0,000	CO19/3	-143,40	0,37	0,22	0,00	0,00	-0,56
ZtPo1	Ztuzidlo Podelné - 2LT	3,354	CO1/10	0,06	0,00	-0,22	0,00	0,00	0,00
ZtPo1	Ztuzidlo Podelné - 2LT	0,000	CO1/10	0,06	0,00	0,22	0,00	0,00	0,00
ZtPo56	Ztuzidlo Podelné - 2LT	0,000	CO20/2	0,19	-0,06	0,22	-0,01	0,00	0,06
ZtPo54	Ztuzidlo Podelné - 2LT	0,000	CO20/2	0,19	0,06	0,22	0,01	0,00	-0,13
ZtPo1	Ztuzidlo Podelné - 2LT	0,000	CO5/1	-29,86	0,07	0,22	0,00	0,00	-0,11
ZtPo1	Ztuzidlo Podelné - 2LT	1,677	CO1/10	0,06	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00
ZtPo145	Ztuzidlo Podelné - 2LT	3,354	CO19/3	-143,40	0,37	-0,22	0,00	0,00	0,69

$$N_{Ed,tlak} = -153,30 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,tah} = 153,50 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 0,37 \text{ kN}$$

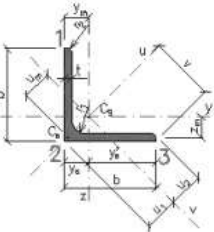
$$V_{z,Ed} = 0,22 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 0,18 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,69 \text{ kNm}$$

7.3.3 PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

L 80x80x6

Geometrie		Průřezové charakteristiky k lokálním osám	Osa y	Osa z
			$I_y = 5.58E+5 \text{ mm}^4$	$I_z = 5.58E+5 \text{ mm}^4$
			$W_{y1} = 9571 \text{ mm}^3$	$W_{z3} = 9571 \text{ mm}^3$
			$W_{y2} = 2.58E+4 \text{ mm}^3$	$W_{z2} = 2.58E+4 \text{ mm}^3$
			$i_y = 24.4 \text{ mm}$	$i_z = 24.4 \text{ mm}$
Průřezové charakteristiky k hlavním osám		Průřezové charakteristiky k lokálním osám	Osa u	Osa v
b = 80 mm	A = 934.7 mm ²		$I_u = 8.87E+5 \text{ mm}^4$	$I_v = 2.30E+5 \text{ mm}^4$
t = 6 mm	G = 7.338 kg.m ⁻¹		$W_{u1} = 1.57E+4 \text{ mm}^3$	$W_{v2} = 7490 \text{ mm}^3$
r ₁ = 10 mm	A _L = 0.3114 m ² .m ⁻¹		$i_u = 30.8 \text{ mm}$	$W_{v3} = 8173 \text{ mm}^3$
r ₂ = 5 mm	v = 56.6 mm	$u_m = 26.4 \text{ mm}$	$i_v = 15.7 \text{ mm}$	
y _s = 21.7 mm	u ₁ = 30.7 mm	Kroucení a klopení	$I_t = 1.16E+4 \text{ mm}^4$	$i_{pc} = 34.6 \text{ mm}$
y' _s = 58.3 mm	u ₂ = 28.1 mm		$I_{yz} = 3.29E+5 \text{ mm}^4$	$i_{pa} = 43.5 \text{ mm}$

7.3.4 POSOUZENÍ MSÚ - TAH

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{9,347 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 331,82 \text{ kN}$$

POSOUZENÍ:

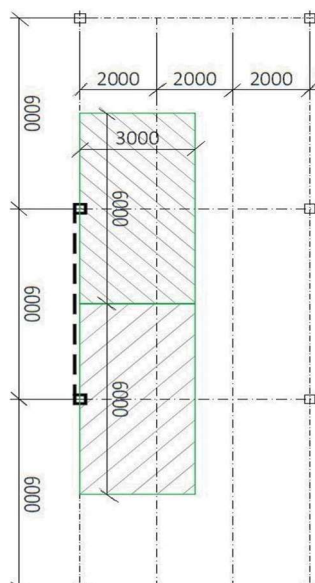
Podmínka $N_{Ed} < N_{pl,Rd}$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{153,50}{331,82} = 0,46 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

7.4 SVISLÉ STĚNOVÉ ZTUŽIDLO

7.4.1 SCHÉMA GEOMETRIE SVISLÝCH ZTUŽIDEL

SVISLÉ STĚNOVÉ ZTUŽIDLO			SVISLÉ STĚNOVÉ ZTUŽIDLO		
		+29,600 5,7BCH4			
		+25,900 8,1NP			3,7m
		+22,200 7,7NP			3,7m
		+18,500 6,8NP			3,7m
		+14,800 5,8NP			3,7m
		+11,100 4,9NP			3,7m
		+7,400 3,9NP			3,7m
		+3,700 2,9NP			3,7m
		+0,000 1,9NP			3,7m



7.4.2 ZATÍŽENÍ STĚNOVÝCH ZTUŽIDEL

TLAK A SÁNÍ VĚTRU NA STĚNY BUDOVY

Délka objektu $b = 54 \text{ m}$

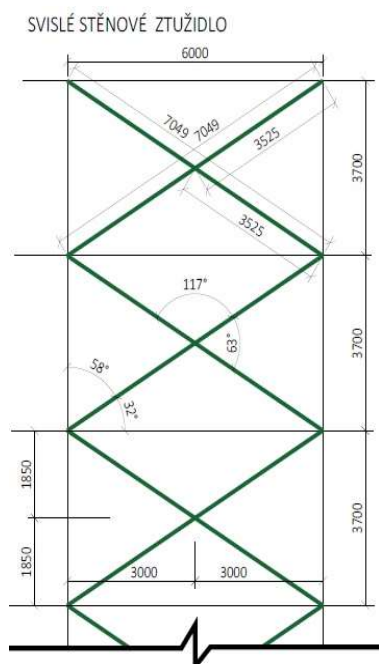
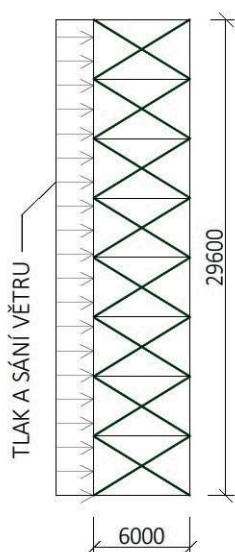
Výška objektu $h = 29,6 \text{ m}$

Plocha stěny budovy $A = b \cdot h = 54 \cdot 29,6 = 1598,4 \text{ m}^2$

Návětrná stěna (tlak) $w_{e,D} = + 0,610 \text{ kN/m}^2$

Závětrná stěna (sání) $w_{e,E} = - 0,420 \text{ kN/m}^2$

Počet ztužidel (po výšce) $n = 4$



Zatížení na ztužidla:

$$w_{k,D,ztuž} = |w_{e,D} \cdot A| = | + 0,610 \cdot 1598,4 | = 975,024 \text{ kN (tlak)}$$

$$w_{k,E,ztuž} = |w_{e,E} \cdot A| = | - 0,420 \cdot 1598,4 | = 671,328 \text{ kN (sání)}$$

$$F_k = \frac{w_{k,D,ztuž} + w_{k,E,ztuž}}{n} = \frac{975,024 + 671,328}{4} = \frac{1646,352}{4} = 411,588$$

Přepočet na spojitě zatížení:

$$q_k = \frac{(F_k)}{h} = \frac{411,588}{29,6} = 13,905 \text{ kN/m}$$

$$q_d = q_k \cdot \gamma_Q = 13,905 \cdot 1,5 = 20,858 \text{ kN/m}$$

7.4.3 GEOMETRIE A MATERIÁL

Délka diagonály	7,049 m
Úhel	32°

Ocel S355

Mez kluzu – charakteristická	$f_{y,k}$ [MPa]	355
Mez kluzu – návrhová	$f_{y,d} = f_{y,k}/\gamma_M$ [MPa]	355
Pevnost v tahu ($t \leq 40$ mm)	f_u [MPa]	510
Pevnost v tahu ($40 < t \leq 100$ mm)	f_u [MPa]	490
Modul pružnosti v tlaku	E_a [MPa]	210 000
Modul pružnosti ve smyku	G_a [MPa]	81 000
Objemová hmotnost	ρ [kg/ m ³]	7850
Součinitel spolehlivosti materiálu	γ_M	1,0
Součinitel příčné deformace	ν	0,3
Součinitel	$\varepsilon = (235/f_y)^{1/2}$	0,81

7.4.4 VNITŘNÍ SÍLY V DIAGONÁLE

Vnitřní síly převzaty z výpočtového programu Scia Engineer.

Vnitřní síly na prutu

Lineární výpočet, Extrém : Globální, Systém : Hlavní

Výběr : Vše

Třída : RC1_kombinace

Dílec	css	dx [m]	Stav	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
ZtSt5	Ztuzidlo Pricne - 2LT	0,000	CO20/2	-39,33	-0,02	0,39	0,00	0,00	0,10
ZtSt59	Ztuzidlo Pricne - 2LT	7,049	CO5/1	1,59	0,02	-0,39	0,00	0,00	0,06
ZtSt46	Ztuzidlo Pricne - 2LT	0,000	CO13/5	-12,53	-0,03	0,39	0,00	0,00	0,13
ZtSt41	Ztuzidlo Pricne - 2LT	0,000	CO13/5	-12,53	0,03	0,39	0,00	0,00	-0,13
ZtSt1	Ztuzidlo Pricne - 2LT	7,049	CO1/10	-19,81	0,00	-0,39	0,00	0,00	0,00
ZtSt1	Ztuzidlo Pricne - 2LT	0,000	CO1/10	-20,29	0,00	0,39	0,00	0,00	0,00
ZtSt4	Ztuzidlo Pricne - 2LT	0,000	CO20/2	-26,81	0,02	0,39	0,00	0,00	-0,10
ZtSt7	Ztuzidlo Pricne - 2LT	0,000	CO20/2	-26,81	-0,02	0,39	0,00	0,00	0,10
ZtSt1	Ztuzidlo Pricne - 2LT	3,525	CO1/10	-20,05	0,00	0,00	0,00	0,69	0,00

$$N_{Ed,tlak} = -39,33 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,tah} = 1,59 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 0,69 \text{ kNm}$$

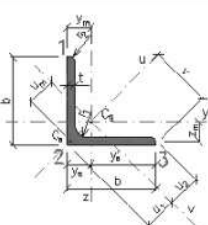
$$M_{z,Ed} = 0,13 \text{ kNm}$$

7.4.5 PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

$$\text{Nutná plocha: } A_n \frac{N_{Ed,tlak} \cdot \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{39,33 \cdot 1,0}{355 \cdot 10^3} = 1,108 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Návrh průřezu:

L 35x35x3

Geometrie		Průřezové charakteristiky k lokálním osám	Osa y	Osa z
			$I_y = 2.30E+4 \text{ mm}^4$	$I_z = 2.30E+4 \text{ mm}^4$
			$W_{y1} = 905.0 \text{ mm}^3$	$W_{z3} = 905.0 \text{ mm}^3$
			$W_{y2} = 2410 \text{ mm}^3$	$W_{z2} = 2410 \text{ mm}^3$
			$i_y = 10.6 \text{ mm}$	$i_z = 10.6 \text{ mm}$
		Průřezové charakteristiky k hlavním osám	Osa u	Osa v
$b = 35 \text{ mm}$	$A = 204 \text{ mm}^2$		$I_u = 3.63E+4 \text{ mm}^4$	$I_v = 9750 \text{ mm}^4$
$t = 3 \text{ mm}$	$G = 1.6 \text{ kg.m}^{-1}$		$W_{u1} = 1470 \text{ mm}^3$	$W_{v2} = 721.0 \text{ mm}^3$
$r_1 = 5 \text{ mm}$	$A_L = 0.14 \text{ m}^2.\text{m}^{-1}$		$i_u = 13.4 \text{ mm}$	$W_{v3} = 792.0 \text{ mm}^3$
$r_2 = 2.5 \text{ mm}$	$v = 24.7 \text{ mm}$	Kroucení a klopení	$u_m = 11.4 \text{ mm}$	$i_v = 6.92 \text{ mm}$
$y_s = 9.6 \text{ mm}$	$u_1 = 13.5 \text{ mm}$		$I_t = 626.0 \text{ mm}^4$	$i_{pc} = 15 \text{ mm}$
$y'_s = 25.4 \text{ mm}$	$u_2 = 12.3 \text{ mm}$		$I_{yz} = 1.33E+4 \text{ mm}^4$	$i_{pa} = 18.9 \text{ mm}$

7.4.6 POSOUZENÍ MSÚ - TAH

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{1,737 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 61,66 \text{ kN}$$

POSOUZENÍ:

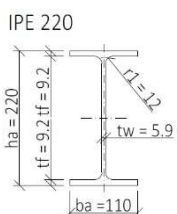
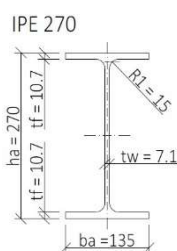
Podmínka $N_{Ed} < N_{pl,Rd}$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{39,33}{61,66} = 0,64 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

8 PŘÍPOJE

8.1 PŘÍPOJ STROPNICE NA PRŮVLAK

8.1.1 GEOMETRIE A MATERIÁL



Průvlak IPE 270, S355

Stropnice IPE 220, S355

Návrhové vnitřní síly: $V_{Ed} = 82,18 \text{ kN}$

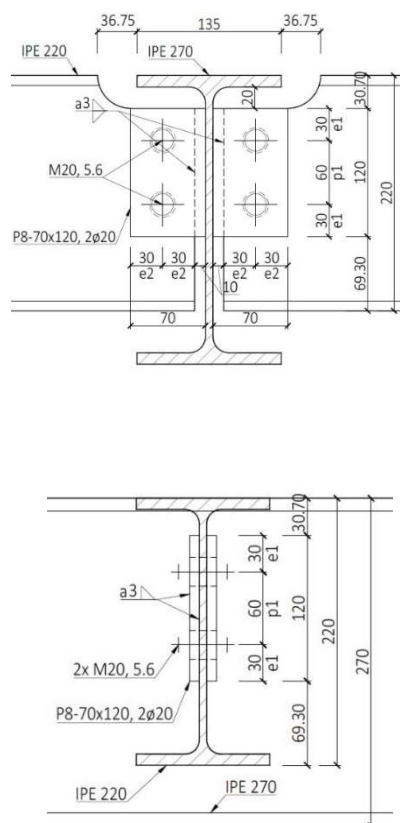
Tloušťka stojiny: $t_w = 5,9 \text{ mm}$

Šrouby 2x M20 5.6

Průměr dříku šroubu	d [mm]	20
Průměr otvoru pro šroub	d ₀ [mm]	22
Plocha dříku šroubu	A [mm ²]	314,16
Plocha jádra šroubu	A _s [mm ²]	245
Pevnost v tahu	f _{ub} [MPa]	500
Mez kluzu	f _{yb} [MPa]	300

Styčnickový plech S235

Tloušťka plechu	t _p [mm]	8
Mez kluzu	f _y [MPa]	235
Mez pevnosti materiálu	f _u [MPa]	360



Návrh a kontrola roztečí

$$t = \min \{t_p; t_w\} = \min \{8; 5,9\} = 5,9 \text{ mm}$$

$$e_1 = 30 \text{ mm}$$

$$e_{1,\min} = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 22 = 26,4 \text{ mm}$$

$$e_{1,\max} = 4 \cdot t + 40 = 4 \cdot 5,9 + 40 = 63,6 \text{ mm}$$

$$e_{1,\min} \leq e_1 \leq e_{1,\max}$$

$$26,4 \leq 30 \leq 63,6 \text{ mm}$$

=> VYHOVUJE

$$p_1 = 60 \text{ mm}$$

$$p_{1,\min} = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 22 = 48,4 \text{ mm}$$

$$p_{1,\max} = \min \{14t; 200\} = \min \{14 \cdot 5,9; 200\} = \min \{82,6; 200\} = 82,6 \text{ mm}$$

$$p_{1,\min} \leq p_1 \leq p_{1,\max}$$

$$48,4 \leq 60 \leq 82,6 \text{ mm}$$

=> VYHOVUJE

$$e_2 = 30 \text{ mm}$$

$$e_{2,\min} = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 22 = 26,4 \text{ mm}$$

$$e_{2,\max} = 4 \cdot t + 40 = 4 \cdot 5,9 + 40 = 63,6 \text{ mm}$$

$$e_{2,\min} \leq e_2 \leq e_{2,\max}$$

$$26,4 \leq 30 \leq 63,6 \text{ mm}$$

=> VYHOVUJE

$$p_2 = 0 \text{ mm}$$

8.1.2 POSOUZENÍ VE STŘIHU

Únosnost ve střihu pro jednu střihovou plochu:

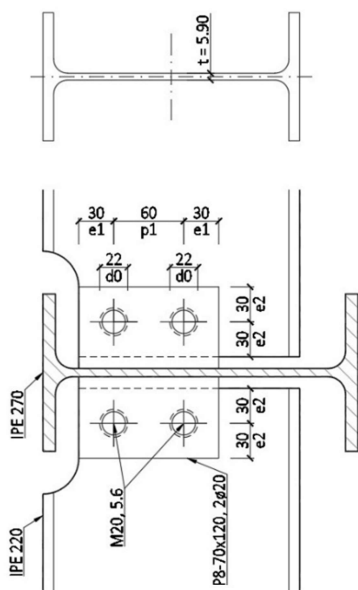
$$F_{v,Rd,1} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 10^{-3} \cdot 245}{1,25} = 58,80 \text{ kN} \quad (1 \text{ šroub})$$

$$F_{v,Rd,2} = 2 \cdot F_{v,Rd,1} = 2 \cdot 58,80 = 117,60 \text{ kN} \quad (2 \text{ šrouby})$$

$$\text{Podmínka: } V_{Ed} \leq F_{v,Rd,2}$$

$$82,18 \text{ kN} \leq 117,60 \text{ kN}$$

=> VYHOVUJE



8.1.3 POSOUZENÍ NA OTLAČENÍ

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0; \frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} \right\} = \min \left\{ \frac{500}{360}; 1,0; \frac{30}{3 \cdot 22}; \frac{60}{3 \cdot 22} - \frac{1}{4} \right\} \\ = \min \{1,39; 1,0; 0,61; 0,66\} = 0,61$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,5; 2,8 \cdot \frac{e_1}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_1}{d_0} - 1,7 \right\} = \\ = \min \left\{ 2,5; 2,8 \cdot \frac{30}{22} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{60}{22} - 1,7 \right\} = \\ = \min \{2,5; 3,39; 2,12\} = 2,12$$

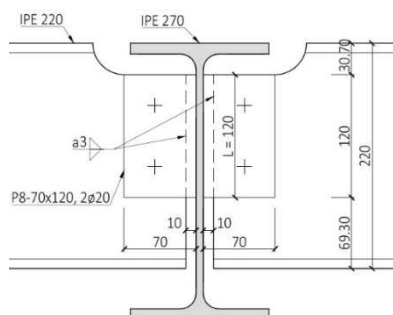
$$F_{b,Rd,1} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,12 \cdot 0,61 \cdot 360 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \cdot 5,9}{1,25} = 43,95 \text{ kN (1 šroub)}$$

$$F_{b,Rd,2} = 2 \cdot F_{b,Rd,1} = 2 \cdot 43,95 = 87,90 \text{ kN (2 šrouby)}$$

$$\text{Podmínka: } V_{Ed} \leq F_{b,Rd,2}$$

$$82,18 \text{ kN} \leq 87,90 \text{ kN}$$

=> VYHOVUJE



8.1.4 POSOUZENÍ SVAROVÉHO SPOJE

Návrh svaru: 2x svar a = 3 mm, L = 120 mm

- průřez ovařen kolem dokola s ohledem na šterbinovou korozi

$$a_{\min} = 3 \text{ mm pro } t < 10 \text{ mm}$$

$$\beta_w = 0,8 \text{ pro ocel S235}$$

$$f_u = 360 \text{ MPa}$$

$$e = 30,7 \text{ mm} = 0,0307 \text{ m}$$

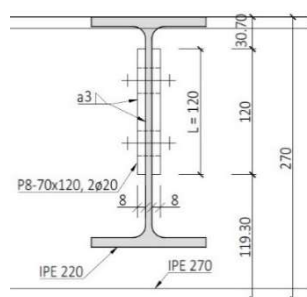
$$F_{w,Ed} = V_{Ed} = 82,18 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot e = 82,18 \cdot 0,0307 = 2,523 \text{ kNm}$$

$$\sigma_w = \frac{M_{Ed}}{\frac{2a \cdot L^2}{6}} = \frac{2,523 \cdot 10^6}{\frac{2 \cdot 3 \cdot 120^2}{6}} = 175,21 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{175,21}{\sqrt{2}} = 123,89 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{2a \cdot L} = \frac{82 \cdot 180}{2 \cdot 3 \cdot 120} = 114,14 \text{ MPa}$$



POSOUZENÍ

Podmínka:
$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{123,89^2 + 3(123,89^2 + 114,14^2)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$316,98 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa}$$

=> VYHOVUJE

Podmínka:
$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{360}{1,25}$$

$$123,89 \text{ MPa} \leq 288,00 \text{ MPa}$$

=> VYHOVUJE

8.1.5 POSOUZENÍ NA VYTRŽENÍ SKUPINY ŠROUBŮ

$$F_{v,Ed} = 82,18 \text{ kN}$$

Styčnicková deska: $f_u = 360 \text{ MPa}; f_{yd} = 235 \text{ MPa}$

$$A_v = 8 \cdot 120 = 960 \text{ mm}^2$$

IPE 220 (stropnice) $f_{yd} = 355 \text{ MPa}$

POSOUZENÍ – Styčnicková deska

$$A_{nt,1} = t \cdot (x_1 - d/2) = 8 \cdot (30 - (20/2)) = 160 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv,1} = t \cdot (x_2 - d - d/2) = 8 \cdot (90 - 20 - (20/2)) = 480 \text{ mm}^2$$

$$V_{eff,2,Rd,1} = \frac{0,5 \cdot f_u \cdot A_{nt,1}}{\gamma_{M2}} + \frac{\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right) \cdot f_y \cdot A_{nv,1}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 360 \cdot 160}{1,25} + \frac{\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right) \cdot 235 \cdot 480}{1,0} =$$

$$= 88,17 \text{ kN}$$

POSOUZENÍ:

Podmínka $V_{eff,2,Rd,1} < F_{v,Ed}$

$$88,17 \text{ kN} < 82,18 \text{ kN}$$

=> VYHOVUJE

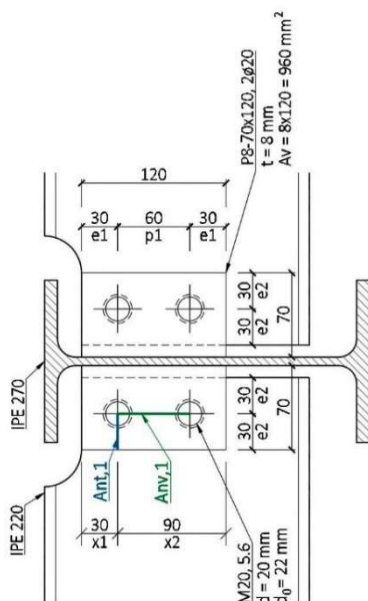
POSOUZENÍ – Styčnicková deska na smyk

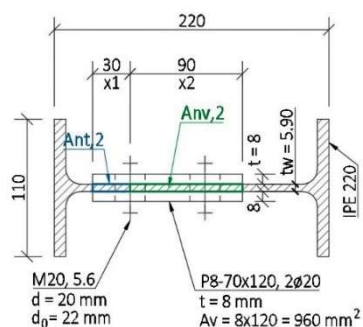
$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{960 \cdot 235 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 130,25 \text{ kN}$$

Podmínka $V_{pl,Rd} > F_{v,Ed}$

$$130,25 \text{ kN} > 82,18 \text{ kN}$$

=> VYHOVUJE





POSOUZENÍ – Stojina IPE nosníku

$$A_{nt,2} = t_w \cdot (x_1 - d/2) = 5,9 \cdot (30 - (20/2)) = 118 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv,2} = t_w \cdot (x_2 - d - d/2) = 5,9 \cdot (90 - 20 - (20/2)) = 354 \text{ mm}^2$$

$$V_{eff,2,Rd,2} = \frac{0,5 \cdot f_u \cdot A_{nt,2}}{\gamma_{M2}} + \frac{\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right) \cdot f_y \cdot A_{nv,2}}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 490 \cdot 118}{1,25} + \frac{\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right) \cdot 355 \cdot 354}{1,0} = 95,68 \text{ kN}$$

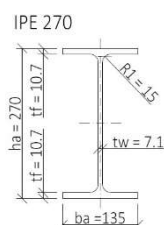
Podmínka $V_{eff,2,Rd,2} > F_{v,Ed}$

$$95,68 \text{ kN} > 82,18 \text{ kN}$$

=> VYHOVUJE

8.2 PŘÍPOJ PRŮVLAKU NA SLOUP

8.2.1 GEOMETRIE A MATERIÁL



Sloup HEB 320, S355

Průvlak IPE 270, S355

Návrhové vnitřní síly: $V_{y,Ed} = 9,08 \text{ kN}$

$V_{z,Ed} = 164,67 \text{ kN}$

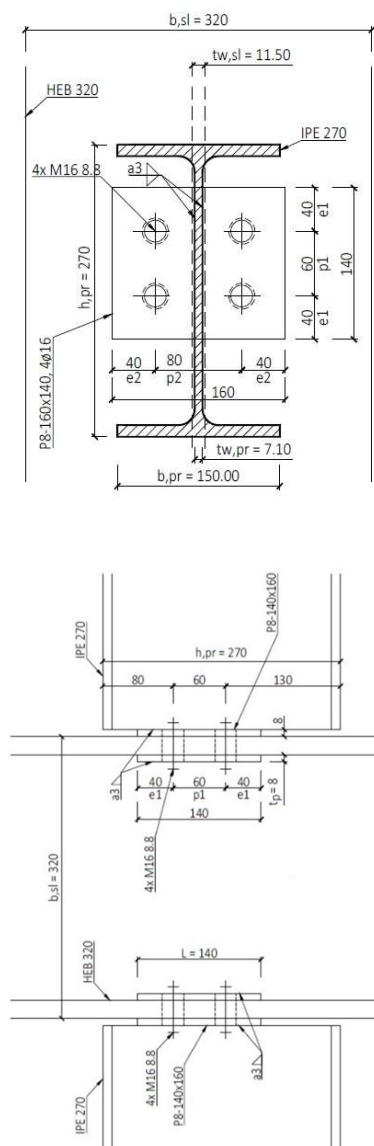
Tloušťka stojiny: $t_w = 6,6 \text{ mm}$

Šrouby 4x M16 8.8

Průměr dřívku šroubu	d [mm]	16
Průměr otvoru pro šroub	d ₀ [mm]	18
Plocha dřívku šroubu	A [mm ²]	201,06
Plocha jádra šroubu	A _s [mm ²]	157
Pevnost v tahu	f _{ub} [MPa]	800
Mez kluzu	f _{yb} [MPa]	640

Styčnickový plech S235

Tloušťka plechu	t _p [mm]	8
Mez kluzu	f _y [MPa]	235
Mez pevnosti materiálu	f _u [MPa]	360



Návrh a kontrola roztečí

$$t = \min \{t_p; t_w\} = \min \{8; 6,6\} = 6,6 \text{ mm}$$

$$e_1 = 40 \text{ mm}$$

$$e_{1,\min} = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm}$$

$$e_{1,\max} = 4 \cdot t + 40 = 4 \cdot 6,6 + 40 = 66,4 \text{ mm}$$

$$e_{1,\min} \leq e_1 \leq e_{1,\max}$$

$$21,6 \leq 40 \leq 66,4 \text{ mm}$$

=> VYHOVUJE

$$p_1 = 60 \text{ mm}$$

$$p_{1,\min} = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 18 = 39,6 \text{ mm}$$

$$p_{1,\max} = \min \{14t; 200\} = \min \{14 \cdot 6,6; 200\} = \\ = \min \{92,2; 200\} = 92,2 \text{ mm}$$

$$p_{1,\min} \leq p_1 \leq p_{1,\max}$$

$$39,6 \leq 60 \leq 92,9 \text{ mm}$$

=> VYHOVUJE

$$e_2 = 40 \text{ mm}$$

$$e_{2,\min} = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm}$$

$$e_{2,\max} = 4 \cdot t + 40 = 4 \cdot 6,6 + 40 = 66,4 \text{ mm}$$

$$e_{2,\min} \leq e_2 \leq e_{2,\max}$$

$$21,6 \leq 40 \leq 66,4 \text{ mm}$$

=> VYHOVUJE

$$p_2 = 80 \text{ mm}$$

$$p_{2,\min} = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 18 = 39,6 \text{ mm}$$

$$p_{2,\max} = \min \{14t; 200\} = \min \{14 \cdot 6,6; 200\} = \\ = \min \{92,2; 200\} = 92,2 \text{ mm}$$

$$p_{2,\min} \leq p_2 \leq p_{2,\max}$$

$$39,6 \leq 80 \leq 92,9 \text{ mm}$$

=> VYHOVUJE

8.2.2 POSOUZENÍ VE STŘIHU

Únosnost ve stříhu pro jednu stříhovou plochu:

$$F_{v,Rd,1} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 10^{-3} \cdot 157}{1,25} = 60,29 \text{ kN} \quad (1 \text{ šroub})$$

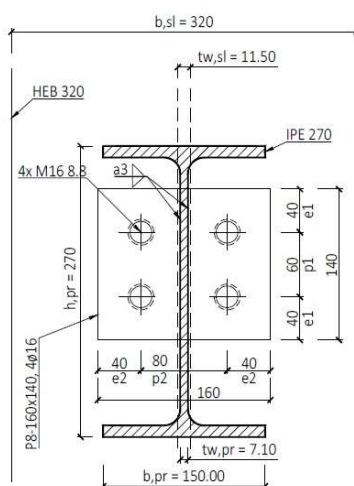
$$F_{v,Rd,4} = 4 \cdot F_{v,Rd,1} = 4 \cdot 60,29 = 241,16 \text{ kN} \quad (4 \text{ šrouby})$$

POSOUZENÍ:

$$\text{Podmínka} \quad V_{Ed} \leq F_{v,Rd,4}$$

$$164,67 \text{ kN} \leq 241,16 \text{ kN} \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

8.2.3 POSOUZENÍ NA OTLAČENÍ



$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0; \frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} \right\} = \min \left\{ \frac{800}{360}; 1,0; \frac{40}{3 \cdot 18}; \frac{60}{3 \cdot 18} - \frac{1}{4} \right\} \\ = \min \{2,22; 1,0; 0,74; 0,86\} = 0,74$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,5; 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \right\} = \\ = \min \left\{ 2,5; 2,8 \cdot \frac{40}{18} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{80}{18} - 1,7 \right\} = \min \{2,5; 4,52; 4,52\} = 2,5$$

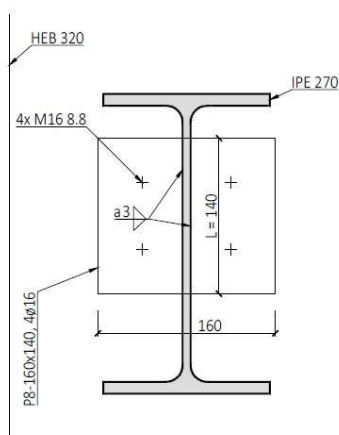
$$F_{b,Rd,1} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,74 \cdot 360 \cdot 10^{-3} \cdot 18 \cdot 6,6}{1,25} = 63,30 \text{ kN} \quad (1 \text{ šroub})$$

$$F_{b,Rd,4} = 4 \cdot F_{b,Rd,1} = 4 \cdot 63,30 = 253,20 \text{ kN} \quad (4 \text{ šrouby})$$

POSOUZENÍ:

$$\text{Podmínka} \quad V_{Ed} \leq F_{b,Rd,4}$$

$$164,67 \text{ kN} \leq 253,20 \text{ kN} \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$



8.2.4 POSOUZENÍ SVAROVÉHO SPOJE

Návrh svaru: $2x a = 3 \text{ mm}$, $L = 140 \text{ mm}$

- průřez ovařen kolem dokola s ohledem na štěrbinovou korozi

$\beta_w = 0,8$ pro ocel 235

$f_u = 360 \text{ MPa}$

$F_{w,Ed} = V_{Ed} = 164,67 \text{ kN}$

$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0 \text{ MPa}$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{2a \cdot L} \frac{164\,670}{2 \cdot 3 \cdot 140} = 196,04 \text{ MPa}$$

POSOUZENÍ:

$$\text{Podmínka} \quad \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{0^2 + 3(0^2 + 196,04^2)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$339,55 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

8.3 PŘÍPOJ STROPNICE NA SLOUP

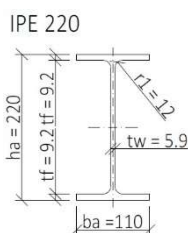
8.3.1 GEOMETRIE A MATERIÁL

Sloup HEB 320, S355

Stropnice IPE 220, S355

Návrhové vnitřní síly: $V_{z,Ed} = 82,18 \text{ kN}$

Tloušťka stojiny: $t_w = 5,9 \text{ mm}$



Šrouby 2x M20 5.6

Průměr dřívku šroubu	d [mm]	20
Průměr otvoru pro šroub	d ₀ [mm]	22
Plocha dřívku šroubu	A [mm ²]	314,16
Plocha jádra šroubu	A _s [mm ²]	245
Pevnost v tahu	f _{ub} [MPa]	500
Mez kluzu	f _{yb} [MPa]	300

Styčníkový plech S235

Tloušťka plechu	t_p [mm]	8
Mez kluzu	f_y [MPa]	235
Mez pevnosti materiálu	f_u [MPa]	360

Návrh a kontrola roztečí

$$t = \min \{t_p; t_w\} = \min \{8; 5,9\} = 5,9 \text{ mm}$$

$$e_1 = 30 \text{ mm}$$

$$e_{1,\min} = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 22 = 26,4 \text{ mm}$$

$$e_{1,\max} = 4 \cdot t + 40 = 4 \cdot 5,9 + 40 = 63,6 \text{ mm}$$

$$e_{1,\min} \leq e_1 \leq e_{1,\max}$$

$$26,4 \leq 30 \leq 63,6 \text{ mm}$$

=> VYHOVUJE

$$p_1 = 60 \text{ mm}$$

$$p_{1,\min} = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 22 = 48,4 \text{ mm}$$

$$p_{1,\max} = \min \{14t; 200\} = \min \{14 \cdot 5,9; 200\} = \\ = \min \{82,6; 200\} = 82,6 \text{ mm}$$

$$p_{1,\min} \leq p_1 \leq p_{1,\max}$$

$$48,4 \leq 60 \leq 82,6 \text{ mm}$$

=> VYHOVUJE

$$e_2 = 30 \text{ mm}$$

$$e_{2,\min} = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 22 = 26,4 \text{ mm}$$

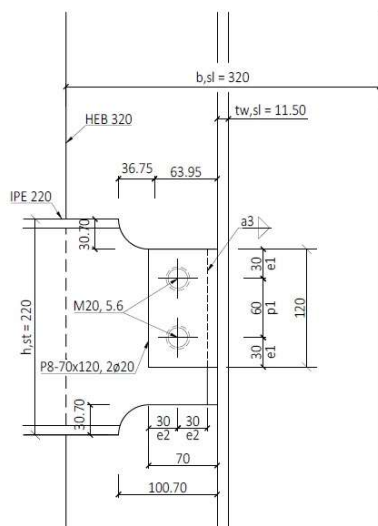
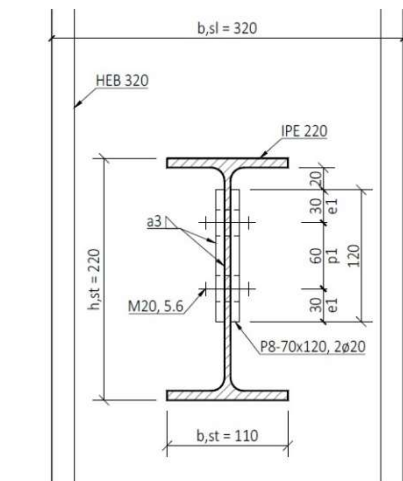
$$e_{2,\max} = 4 \cdot t + 40 = 4 \cdot 5,9 + 40 = 63,6 \text{ mm}$$

$$e_{2,\min} \leq e_2 \leq e_{2,\max}$$

$$26,4 \leq 30 \leq 63,6 \text{ mm}$$

=> VYHOVUJE

$$p_2 = 0 \text{ mm}$$



8.3.2 POSOUZENÍ VE STŘIHU

Únosnost ve stříhu pro jednu stříhovou plochu:

$$F_{v,Rd,1} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 10^{-3} \cdot 245}{1,25} = 58,80 \text{ kN} \quad (1 \text{ šroub})$$

$$F_{v,Rd,2} = 2 \cdot F_{v,Rd,1} = 2 \cdot 58,80 = 117,60 \text{ kN} \quad (2 \text{ šrouby})$$

POSOUZENÍ:

$$\text{Podmínka} \quad V_{Ed} \leq F_{v,Rd,2}$$

$$82,18 \text{ kN} \leq 117,60 \text{ kN} \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

8.3.3 POSOUZENÍ NA OTLAČENÍ

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0; \frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} \right\} = \min \left\{ \frac{500}{360}; 1,0; \frac{30}{3 \cdot 22}; \frac{60}{3 \cdot 22} - \frac{1}{4} \right\}$$

$$= \min \{1,39; 1,0; 0,61; 0,66\} = 0,61$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,5; 2,8 \cdot \frac{e_1}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_1}{d_0} - 1,7 \right\} =$$

$$= \min \left\{ 2,5; 2,8 \cdot \frac{30}{22} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{60}{22} - 1,7 \right\} =$$

$$= \min \{2,5; 3,39; 2,12\} = 2,12$$

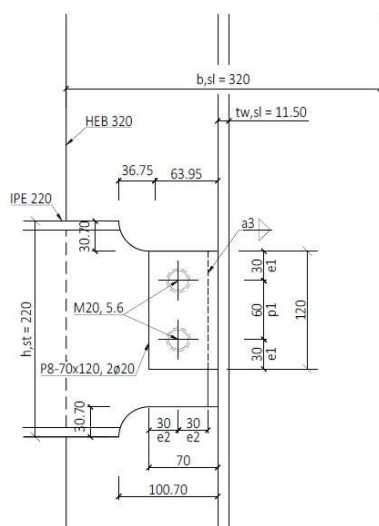
$$F_{b,Rd,1} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,12 \cdot 0,61 \cdot 360 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \cdot 5,9}{1,25} = 43,95 \text{ kN} \quad (1 \text{ šroub})$$

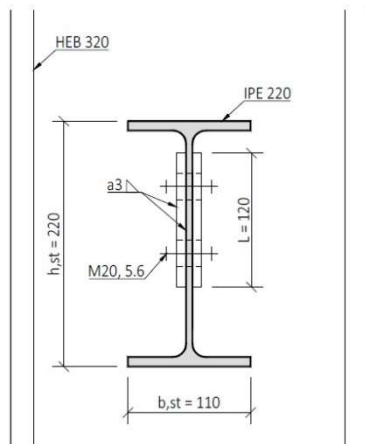
$$F_{b,Rd,2} = 2 \cdot F_{b,Rd,1} = 2 \cdot 43,95 = 87,90 \text{ kN} \quad (2 \text{ šrouby})$$

POSOUZENÍ:

$$\text{Podmínka} \quad V_{Ed} \leq F_{b,Rd,2}$$

$$82,18 \text{ kN} \leq 87,90 \text{ kN} \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$





8.3.4 POSOUZENÍ SVAROVÉHO SPOJE

Návrh svaru: $2 \times a = 3 \text{ mm}$, $L = 120 \text{ mm}$

- průřez ovařen kolem dokola s ohledem na štěrbinovou korozi

$\beta_w = 0,9$ pro ocel 235

$f_u = 360 \text{ MPa}$

$F_{w,Ed} = V_{Ed} = 82,18 \text{ kN}$

$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0 \text{ MPa}$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{2a \cdot L} = \frac{82180}{2 \cdot 3 \cdot 120} = 114,14 \text{ MPa}$$

POSOUZENÍ

$$\text{Podmínka: } \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{0^2 + 3(0^2 + 114,14^2)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$197,69 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa}$$

=> VYHOVUJE

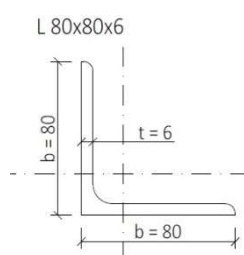
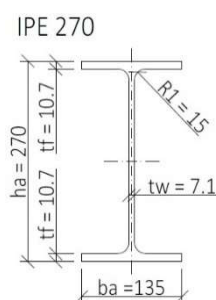
8.4 ZTUŽIDLA

8.4.1 PŘÍPOJ VODOROVNÉHO PODÉLNÉHO ZTUŽIDLA

Průvlak: IPE 270, S355 ($f_u = 510 \text{ MPa}$)

Ztužidlo: L80x80x6, S355 ($f_u = 510 \text{ MPa}$)

osová síla v diagonále $N_{Ed} = 153,50 \text{ kN}$



Šrouby 3x M16 8.8

Průměr dřívku šroubu	d [mm]	16
Průměr otvoru pro šroub	d ₀ [mm]	18
Plocha dřívku šroubu	A [mm ²]	201,06
Plocha jádra šroubu	A _s [mm ²]	157
Pevnost v tahu	f _{ub} [MPa]	800
Mez kluzu	f _{yb} [MPa]	640

$$e_2 = 35 \text{ mm}$$

$$e_{2,\min} = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm}$$

$$e_{2,\max} = 4 \cdot t + 40 = 4 \cdot 6 + 40 = 64 \text{ mm}$$

$$e_{2,\min} \leq e_2 \leq e_{2,\max}$$

$$21,6 \leq 35 \leq 64 \text{ mm}$$

=> VYHOVUJE

$$p_2 = 0 \text{ mm}$$

8.4.1.1 POSOUZENÍ VE STŘIHU

Únosnost ve střihu pro jednu střihovou plochu:

$$F_{v,Rd,1} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 10^{-3} \cdot 157}{1,25} = 60,288 \text{ kN} \quad (1 \text{ šroub})$$

$$F_{v,Rd,2} = 3 \cdot F_{v,Rd,1} = 3 \cdot 60,288 = 180,86 \text{ kN} \quad (3 \text{ šrouby})$$

POSOUZENÍ:

Podmínka

$$N_{Ed} \leq F_{v,Rd,2}$$

$$153,50 \text{ kN} \leq 120,57 \text{ kN}$$

=> VYHOVUJE

8.4.1.2 POSOUZENÍ NA OTLAČENÍ

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0; \frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} \right\} = \min \left\{ \frac{800}{360}; 1,0; \frac{35}{3 \cdot 18}; \frac{60}{3 \cdot 18} - \frac{1}{4} \right\}$$

$$= \min \{2,22; 1,0; 0,64; 0,86\} = 0,64$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,5; 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \right\} =$$

$$= \min \left\{ 2,5; 2,8 \cdot \frac{30}{18} - 1,7 \right\} = \min \{2,5; 2,97\} = 2,5$$

$$F_{b,Rd,1} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,64 \cdot 360 \cdot 10^{-3} \cdot 16 \cdot 8}{1,25} = 58,98 \text{ kN} \quad (1 \text{ šroub})$$

$$F_{b,Rd,2} = 3 \cdot F_{b,Rd,1} = 3 \cdot 58,98 = 176,94 \text{ kN} \quad (3 \text{ šrouby})$$

POSOUZENÍ:

Podmínka

$$N_{Ed} \leq F_{b,Rd,2}$$

$$153,50 \text{ kN} \leq 176,94 \text{ kN}$$

=> VYHOVUJE

$$d = 16 \text{ mm}, d_0 = 18 \text{ mm}$$

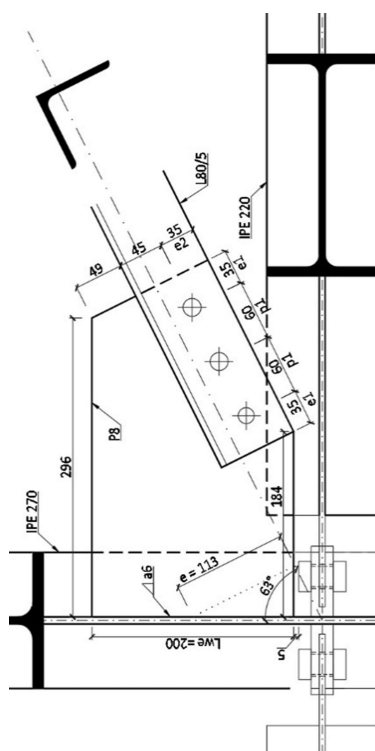
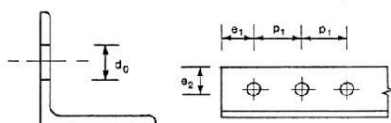
$$p_1 = 60 \text{ mm}$$

$$\leq 2,5 \cdot 18 = 45 \text{ mm}$$

$$\geq 5,0 \cdot 18 = 90 \text{ mm}$$

Redukční součinitele

Rozteč	p_1	$\leq 2,5d_0$	$\geq 5,0d_0$
Dva šrouby	β_2	0,4	0,7
Tři a více šroubů	β_3	0,5	0,7



8.4.1.3 POSOUZENÍ NESYMETRICKÉHO PŘÍPOJE ÚHELNÍKU

L 80x80x6, S355

$\beta_3 = 0,57$ (interpolováno)

$$A_{\text{net}} = A - d_0 \cdot t = 934,7 - 18 \cdot 8 = 790,7 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_3 \cdot A_{\text{net}} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,57 \cdot 790,7 \cdot 510 \cdot 10^{-3}}{1,25} = 183,89 \text{ kN}$$

POSOUZENÍ:

Podmínka

$$N_{Ed} \leq N_{u,Rd}$$

$$153,50 \text{ kN} \leq 183,89 \text{ kN}$$

=> VYHOVUJE

8.4.1.4 POSOUZENÍ SVAROVÉHO SPOJE

Návrh svaru:

$$2x a = 6 \text{ mm}, L_{we} = 200 \text{ mm},$$

$$W_{we} = (1/6) \cdot a \cdot L_{we}^2 = (1/6) \cdot 6 \cdot 200^2 = 40000 \text{ mm}^3$$

- průřez ovařen kolem dokola s ohledem na štěrbinovou korozi

$$a_{\text{min}} = 3 \text{ mm pro } t < 10 \text{ mm}$$

$$a_{\text{max}} = 1,1 t = 1,1 \cdot 6 = 6,6 \text{ mm (úhelník)}$$

$\beta_w = 0,8$ pro ocel S235

$$f_u = 360 \text{ MPa}$$

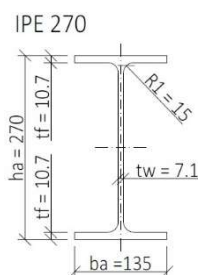
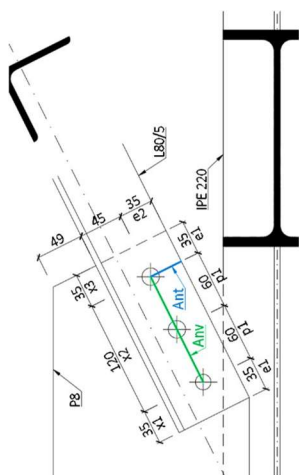
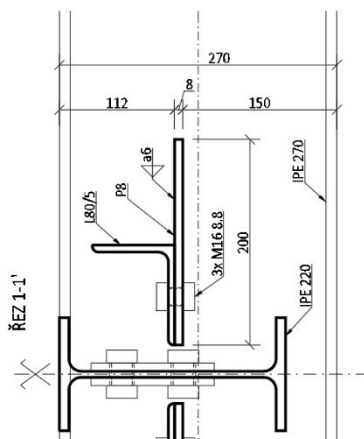
$$e = 113 \text{ mm}$$

$$F_{\parallel} = N_{Ed} \cdot \cos \alpha = 153,50 \cdot \cos 63^\circ = 69,68 \text{ kN}$$

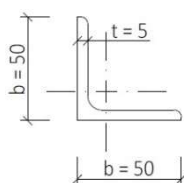
$$F_{\perp} = N_{Ed} \cdot \sin \alpha = 153,50 \cdot \sin 63^\circ = 136,76 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{2a \cdot L} = \frac{69\,680}{2 \cdot 6 \cdot 200} = 29,03 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{F_{\perp} \cdot \cos 45^\circ}{2a \cdot L_{we}} + \frac{F_{\perp} \cdot \cos 45^\circ \cdot e}{2 \cdot W_{we}} = \frac{136\,760 \cdot \cos 45^\circ}{2 \cdot 6 \cdot 200} + \frac{136\,760 \cdot \cos 45^\circ \cdot 113}{2 \cdot 40000} = 171,89 \text{ MPa}$$



L 50x50x5



POSOUZENÍ

$$\begin{aligned} \text{Podmínka: } \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} &\leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \\ \sqrt{171,89^2 + 3(171,89^2 + 29,03^2)} &\leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} \\ 347,43 \text{ MPa} &\leq 360 \text{ MPa} \end{aligned}$$

=> VYHOVUJE

Podmínka: $\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M_2}} = \frac{360}{1,25}$

$$171,89 \text{ MPa} \leq 288,00 \text{ MPa}$$

=> VYHOVUJE

8.4.1.5 POSOUZENÍ NA VYTŘENÍ ŠROUBŮ Z PLECHU

$$A_{\text{nt}} = t \cdot e_2 - (d_0/2) = 8 \cdot 35 - (18/2) = 271 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = t \cdot x_2 - (d_0 \cdot 2) = 8 \cdot 120 - (18 \cdot 2) = 924 \text{ mm}^2$$

$$N_{\text{eff},1,\text{Rd}} = \frac{f_u \cdot A_{\text{nt}}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{\text{nv}}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{360 \cdot 10^{-3} \cdot 271}{1,25} + \frac{235 \cdot 10^{-3} \cdot 924}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 203,41 \text{ kN}$$

POSOUZENÍ:

Podmínka $N_{Ed} \leq N_{eff,1,Rd}$

$$153,50 \text{ kN} \leq 203,41 \text{ kN}$$

=> VYHOVUJE

8.4.1.6 PŘÍPOJ VODOROVNÉHO PŘÍČNÉHO ZTUŽIDLA

Průvlak: IPE 270, S355 ($f_u = 510$ MPa)

Ztužidlo: L50x50x5, S355 ($f_u = 510$ MPa)

osová síla v diagonále $N_{Ed} = 36,36 \text{ kN}$

Šrouby 2x M12 8.8

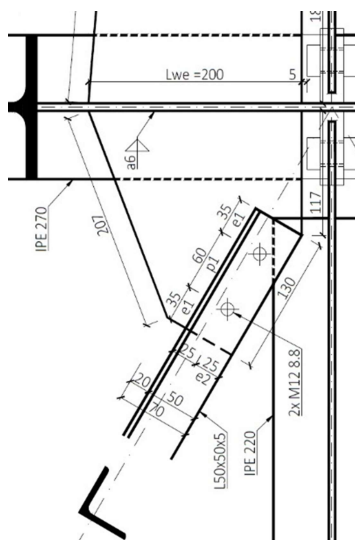
Průměr dřívku šroubu	d [mm]	12
Průměr otvoru pro šroub	d ₀ [mm]	13
Plocha dřívku šroubu	A [mm ²]	113,10
Plocha jádra šroubu	A _s [mm ²]	84,3
Pevnost v tahu	f _{ub} [MPa]	800
Mez kluzu	f _{yb} [MPa]	640

Styčnickový plech S235

Tloušťka plechu	t _p [mm]	8
Mez kluzu	f _y [MPa]	235
Mez pevnosti materiálu	f _u [MPa]	360

Ocel S355

Mez kluzu – charakteristická	f _{y,k} [MPa]	355
Mez kluzu – návrhová	f _{y,d} = f _{y,k} /γ _M [MPa]	355
Pevnost v tahu (t ≤ 40 mm)	f _u [MPa]	510
Pevnost v tahu (40 < t ≤ 100 mm)	f _u [MPa]	490
Modul pružnosti v tlaku	E _a [MPa]	210 000
Modul pružnosti ve smyku	G _a [MPa]	81 000
Objemová hmotnost	ρ [kg/ m ³]	7850
Součinitel spolehlivosti materiálu	γ _M	1,0
Součinitel příčné deformace	ν	0,3
Součinitel	ε = (235/f _y) ^{1/2}	0,81



Návrh a kontrola roztečí

$$t = \min \{t_p; t_w\} = \min \{8; 5\} = 5 \text{ mm}$$

$$e_1 = 35 \text{ mm}$$

$$e_{1,\min} = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 13 = 15,6 \text{ mm}$$

$$e_{1,\max} = 4 \cdot t + 40 = 4 \cdot 5 + 40 = 60 \text{ mm}$$

$$e_{1,\min} \leq e_1 \leq e_{1,\max}$$

$$15,6 \leq 35 \leq 60 \text{ mm}$$

=> VYHOVUJE

$$p_1 = 60 \text{ mm}$$

$$p_{1,\min} = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 13 = 28,6 \text{ mm}$$

$$p_{1,\max} = \min \{14 t; 200\} = \min \{14 \cdot 5; 200\} = \\ = \min \{70; 200\} = 70 \text{ mm}$$

$$p_{1,\min} \leq p_1 \leq p_{1,\max}$$

$$28,6 \leq 60 \leq 70 \text{ mm}$$

=> VYHOVUJE

$$e_2 = 25 \text{ mm}$$

$$e_{2,\min} = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 13 = 15,6 \text{ mm}$$

$$e_{2,\max} = 4 \cdot t + 40 = 4 \cdot 5 + 40 = 60 \text{ mm}$$

$$e_{2,\min} \leq e_2 \leq e_{2,\max}$$

$$15,6 \leq 25 \leq 60 \text{ mm}$$

=> VYHOVUJE

$$p_2 = 0 \text{ mm}$$

8.4.1.7 POSOUZENÍ VE STŘIHU

$$F_{v,Rd,1} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 10^{-3} \cdot 84,3}{1,25} = 32,37 \text{ kN} \quad (1 \text{ šroub})$$

$$F_{v,Rd,2} = 2 \cdot F_{v,Rd,1} = 2 \cdot 32,37 = 64,74 \text{ kN} \quad (2 \text{ šrouby})$$

POSOUZENÍ:

Podmínka

$$N_{Ed} \leq F_{v,Rd,2}$$

$$36,36 \text{ kN} \leq 64,74 \text{ kN}$$

=> VYHOVUJE

8.4.1.8 POSOUZENÍ NA OTLAČENÍ

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0; \frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} \right\} = \min \left\{ \frac{800}{360}; 1,0; \frac{35}{3 \cdot 13}; \frac{60}{3 \cdot 13} - \frac{1}{4} \right\}$$

$$= \min \{2,22; 1,0; 0,89; 1,29\} = 0,89$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,5; 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \right\} = \min \left\{ 2,5; 2,8 \cdot \frac{25}{13} - 1,7 \right\} =$$

$$= \min \{2,5; 3,68\} = 2,5$$

$$F_{b,Rd,1} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,89 \cdot 360 \cdot 10^{-3} \cdot 13 \cdot 8}{1,25} = 66,64 \text{ kN} \quad (1 \text{ šroub})$$

$$F_{b,Rd,2} = 2 \cdot F_{b,Rd,1} = 2 \cdot 66,64 = 133,28 \text{ kN} \quad (2 \text{ šrouby})$$

POSOUZENÍ:

Podmínka

$$N_{Ed} \leq F_{b,Rd,2}$$

$$36,36 \text{ kN} \leq 133,28 \text{ kN}$$

=> VYHOVUJE

$$d = 12 \text{ mm}, d_0 = 13 \text{ mm}$$

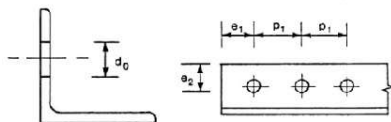
$$p_1 = 60 \text{ mm}$$

$$\leq 2,5 \cdot 13 = 32,5 \text{ mm}$$

$$\geq 5,0 \cdot 13 = 65 \text{ mm}$$

Redukční součinitele

Rozteč	p_1	$\leq 2,5d_0$	$\geq 5,0d_0$
Dva šrouby	β_2	0,4	0,7
Tři a více šroubů	β_3	0,5	0,7



8.4.1.9 POSOUZENÍ NESYMETRICKÉHO PŘÍPOJE ÚHELNÍKU

L 50x50x5 ;S355

 $\beta_3 = 0,65$ (interpolováno)

$$A_{net} = A - d_0 \cdot t = 480,3 - 13 \cdot 8 = 376,3 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_3 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,65 \cdot 376,3 \cdot 510 \cdot 10^{-3}}{1,25} = 99,79 \text{ kN}$$

POSOUZENÍ:

Podmínka

$$N_{Ed} \leq N_{u,Rd}$$

$$36,36 \text{ kN} \leq 99,79 \text{ kN}$$

=> VYHOVUJE

8.4.1.10 POSOUZENÍ SVAROVÉHO SPOJE

Návrh svaru:

$$2 \times a = 3 \text{ mm}, L_{we} = 200 \text{ mm},$$

$$W_{we} = (1/6) \cdot a \cdot L_{we}^2 = (1/6) \cdot 3 \cdot 200^2 = 20000 \text{ mm}^3$$

- průřez ovařen kolem dokola s ohledem na šterbinovou korozi

$$a_{\min} = 3 \text{ mm pro } t < 10 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 1,1 t = 1,1 \cdot 5 = 5,5 \text{ mm (úhelník)}$$

$$\beta_w = 0,8 \text{ pro ocel S235}$$

$$f_u = 360 \text{ MPa}$$

$$e = 109 \text{ mm}$$

$$F_{\parallel} = N_{Ed} \cdot \cos \alpha = 36,36 \cdot \cos 60^\circ = 18,18 \text{ kN}$$

$$F_{\perp} = N_{Ed} \cdot \sin \alpha = 36,36 \cdot \sin 60^\circ = 31,49 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{2a \cdot L} = \frac{18180}{2 \cdot 4 \cdot 200} = 15,15 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \tau_{\perp} = \sigma_{\perp} &= \frac{F_{\perp} \cdot \cos 45^\circ}{2a \cdot L_{we}} + \frac{F_{\perp} \cdot \cos 45^\circ \cdot e}{2 \cdot W_{we}} = \frac{31490 \cdot \cos 45^\circ}{2 \cdot 3 \cdot 200} + \\ &+ \frac{31490 \cdot \cos 45^\circ \cdot 109}{2 \cdot 20000} = 79,23 \text{ MPa} \end{aligned}$$

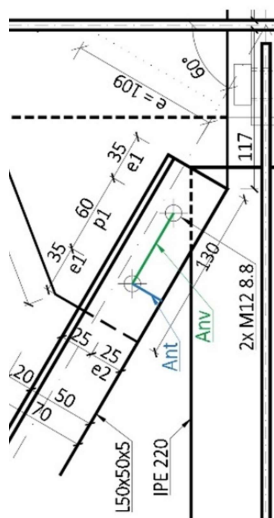
POSOUZENÍ

$$\begin{aligned} \text{Podmínka: } \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} &\leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \\ \sqrt{79,23^2 + 3(79,23^2 + 15,15^2)} &\leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} \\ 110,69 \text{ MPa} &\leq 360 \text{ MPa} \end{aligned}$$

=> VYHOVUJE

$$\begin{aligned} \text{Podmínka: } \sigma_{\perp} &\leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{360}{1,25} \\ 79,23 \text{ MPa} &\leq 288,00 \text{ MPa} \end{aligned}$$

=> VYHOVUJE



8.4.1.11 POSOUZENÍ NA VYTŘENÍ ŠROUBŮ Z PLECHU

$$A_{nt} = t \cdot e_2 - (d_0/2) = 8 \cdot 25 - (13/2) = 193,5 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = t \cdot p_1 - d_0 = 8 \cdot 60 - 13 = 467 \text{ mm}^2$$

$$N_{eff,1,Rd} = \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{360 \cdot 10^{-3} \cdot 193,5}{1,25} + \frac{235 \cdot 10^{-3} \cdot 467}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 119,09 \text{ kN}$$

POSOUZENÍ:

Podmínka

$$N_{Ed} \leq N_{eff,1,Rd}$$

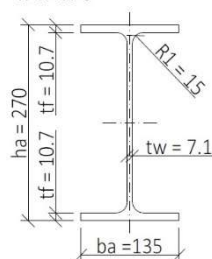
$$36,36 \text{ kN} \leq 119,09 \text{ kN}$$

=> VYHOVUJE

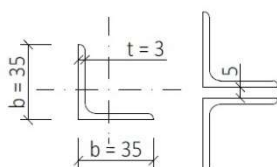
8.4.2 PŘÍPOJ SVISLÉHO STĚNOVÉHO ZTUŽIDLA

Průvlak: IPE 270; S355 ($f_u = 510 \text{ MPa}$)Ztužidlo: 2x L35x35x3; S355 ($f_u = 510 \text{ MPa}$)osová síla v diagonále $N_{Ed} = 39,33 \text{ kN}$

IPE 270



L 35x35x3

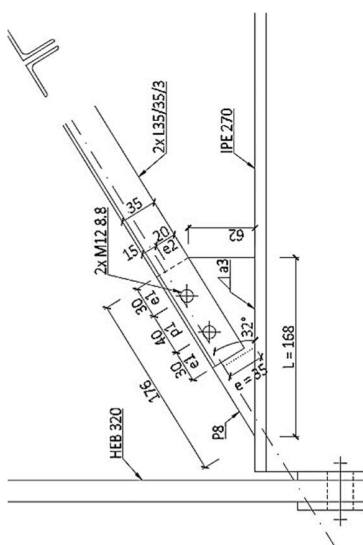


Šrouby 3x M16 8.8

Průměr dřívku šroubu	d [mm]	12
Průměr otvoru pro šroub	d ₀ [mm]	13
Plocha dřívku šroubu	A [mm ²]	113,10
Plocha jádra šroubu	A _s [mm ²]	84,3
Pevnost v tahu	f _{ub} [MPa]	800
Mez kluzu	f _{yb} [MPa]	640

Styčnickový plech S235

Tloušťka plechu	t _p [mm]	8
Mez kluzu	f _y [MPa]	235
Mez pevnosti materiálu	f _u [MPa]	360



Ocel S355

Mez kluzu – charakteristická	$f_{y,k}$ [MPa]	355
Mez kluzu – návrhová	$f_{y,d} = f_{y,k}/\gamma_M$ [MPa]	355
Pevnost v tahu ($t \leq 40$ mm)	f_u [MPa]	510
Pevnost v tahu ($40 < t \leq 100$ mm)	f_u [MPa]	490
Modul pružnosti v tlaku	E_a [MPa]	210 000
Modul pružnosti ve smyku	G_a [MPa]	81 000
Objemová hmotnost	ρ [kg/ m ³]	7850
Součinitel spolehlivosti materiálu	γ_M	1,0
Součinitel příčné deformace	ν	0,3
Součinitel	$\varepsilon = (235/f_y)^{1/2}$	0,81

Návrh a kontrola roztečí

$$t = \min \{t_p; t_w\} = \min \{8; 3\} = 7 \text{ mm}$$

$$e_1 = 35 \text{ mm}$$

$$e_{1,\min} = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 13 = 15,6 \text{ mm}$$

$$e_{1,\max} = 4 \cdot t + 40 = 4 \cdot 3 + 40 = 52 \text{ mm}$$

$$e_{1,\min} \leq e_1 \leq e_{1,\max}$$

$$15,6 \leq 30 \leq 52 \text{ mm}$$

=> VYHOVUJE

$p_1 = 60 \text{ mm}$

$$p_{1,\min} = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 12 = 26,4 \text{ mm}$$

$$p_{1,\max} = \min \{14 \text{ t}; 200\} = \min \{14 \cdot 3; 200\} = \\ = \min \{42; 200\} = 42 \text{ mm}$$

$$p_{1,\min} \leq p_1 \leq p_{1,\max}$$

$$26,4 \leq 40 \leq 42 \text{ mm}$$

=> VYHOVUJE

$$e_2 = 20 \text{ mm}$$

$$e_{2,\min} = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 13 = 15,6 \text{ mm}$$

$$e_{2,\max} = 4 \cdot t + 40 = 4 \cdot 3 + 40 = 52 \text{ mm}$$

$$e_{2,\min} \leq e_2 \leq e_{2,\max}$$

$$15,6 \leq 20 \leq 52 \text{ mm}$$

=> VYHOVUJE

$$p_2 = 0 \text{ mm}$$

8.4.2.1 POSOUZENÍ VE STŘIHU

Únosnost ve střihu pro jednu střihovou plochu:

$$F_{v,Rd,1} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 10^{-3} \cdot 84,3}{1,25} = 32,37 \text{ kN} \quad (1 \text{ šroub})$$

$$F_{v,Rd,2} = 2 \cdot F_{v,Rd,1} = 2 \cdot 32,37 = 68,74 \text{ kN} \quad (2 \text{ šrouby})$$

POSOUZENÍ:

Podmínka $N_{Ed} \leq F_{v,Rd,2}$

$$39,33 \text{ kN} \leq 68,74 \text{ kN} \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

8.4.2.2 POSOUZENÍ NA OTLAČENÍ

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0; \frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} \right\} = \min \left\{ \frac{800}{360}; 1,0; \frac{35}{3 \cdot 13}; \frac{60}{3 \cdot 13} - \frac{1}{4} \right\}$$

$$= \min \{2,22; 1,0; 0,89; 1,29\} = 0,89$$

$$F_{b,Rd,1} = \frac{2,5 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,89 \cdot 360 \cdot 10^{-3} \cdot 12 \cdot 8}{1,25} = 66,64 \text{ kN} \quad (1 \text{ šroub})$$

$$F_{b,Rd,2} = 2 \cdot F_{b,Rd,1} = 2 \cdot 66,64 = 133,28 \text{ kN} \quad (2 \text{ šrouby})$$

POSOUZENÍ:

Podmínka $N_{Ed} \leq F_{b,Rd,2}$

$$39,33 \text{ kN} \leq 133,28 \text{ kN} \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

8.4.2.3 POSOUZENÍ OSLABENÉHO PRŮŘEZU

$$A_{net} = (2 \cdot 204) - 2 \cdot 13 \cdot 8 = 200 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 200 \cdot 360 \cdot 10^{-3}}{1,25} = 51,84 \text{ kN}$$

POSOUZENÍ:

Podmínka $N_{Ed} \leq N_{u,Rd}$

$$39,33 \text{ kN} \leq 51,84 \text{ kN} \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

8.4.2.4 POSOUZENÍ SVARU

Návrh svaru:

$$2x a = 3 \text{ mm}, L_{we} = 168 \text{ mm},$$

$$W_{we} = (1/6) \cdot a \cdot L_{we}^2 = (1/6) \cdot 3 \cdot 168^2 = 14112 \text{ mm}^3$$

- průřez ovařen kolem dokola s ohledem na šterbinovou korozi

$$a_{\min} = 3 \text{ mm pro } t < 10 \text{ mm}$$

$$\beta_w = 0,8 \text{ pro ocel S235}$$

$$f_u = 360 \text{ MPa}$$

$$e = 35 \text{ mm}$$

$$F_{\parallel} = N_{Ed} \cdot \cos \alpha = 39,33 \cdot \cos 32^\circ = 33,35 \text{ kN}$$

$$F_{\perp} = N_{Ed} \cdot \sin \alpha = 39,33 \cdot \sin 32^\circ = 20,84 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{2a \cdot L} = \frac{33\,350}{2 \cdot 3 \cdot 168} = 33,08 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \tau_{\perp} = \sigma_{\perp} &= \frac{F_{\perp} \cdot \cos 45^\circ}{2a \cdot L_{we}} + \frac{F_{\perp} \cdot \cos 45^\circ \cdot e}{2 \cdot W_{we}} = \frac{20\,840 \cdot \cos 45^\circ}{2 \cdot 3 \cdot 168} + \\ &+ \frac{20\,840 \cdot \cos 45^\circ \cdot 35}{2 \cdot 14112} = 32,89 \text{ MPa} \end{aligned}$$

POSOUZENÍ

$$\text{Podmínka: } \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{32,89^2 + 3(32,89^2 + 33,08^2)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

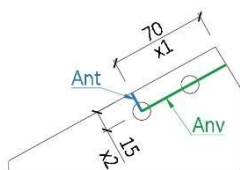
$$87,23 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa}$$

=> VYHOVUJE

$$\text{Podmínka: } \sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{360}{1,25}$$

$$32,89 \text{ MPa} \leq 288,00 \text{ MPa}$$

=> VYHOVUJE



8.4.2.5 POSOUZENÍ NA VYTRŽENÍ SKUPINY ŠROUBŮ Z PLECHU

$$A_{nt} = t_{\text{plechu}} \cdot x_2 - (d_0/2) = 8 \cdot 15 - (13/2) = 113,5 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = t_{\text{plechu}} \cdot x_1 - (d_0 + d_0/2) = 8 \cdot 70 - (13 + 13/2) = 540,5 \text{ mm}^2$$

$$N_{\text{eff},1,\text{Rd}} = \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{360 \cdot 10^{-3} \cdot 113,5}{1,25} + \frac{235 \cdot 10^{-3} \cdot 540,5}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 106,02 \text{ kN}$$

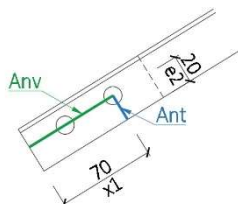
POSOUZENÍ:

Podmínka

$$N_{\text{Ed}} \leq N_{\text{eff},1,\text{Rd}}$$

$$39,33 \text{ kN} \leq 106,02 \text{ kN}$$

=> VYHOVUJE



8.4.2.6 POSOUZENÍ NA VYTRŽENÍ SKUPINY ŠROUBŮ ZE ZTUŽIDLA

$$A_{nt} = t_{\text{prurezu}} \cdot e_2 - (d_0/2) = (2 \cdot 3) \cdot 20 - (13/2) = 113,5 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = t_{\text{prurezu}} \cdot x_1 - (d_0 + d_0/2) = (2 \cdot 3) \cdot 70 - (13 + 13/2) = 400,5 \text{ mm}^2$$

$$N_{\text{eff},1,\text{Rd}} = \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{360 \cdot 10^{-3} \cdot 113,5}{1,25} + \frac{235 \cdot 10^{-3} \cdot 400,5}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 87,03 \text{ kN}$$

POSOUZENÍ:

Podmínka

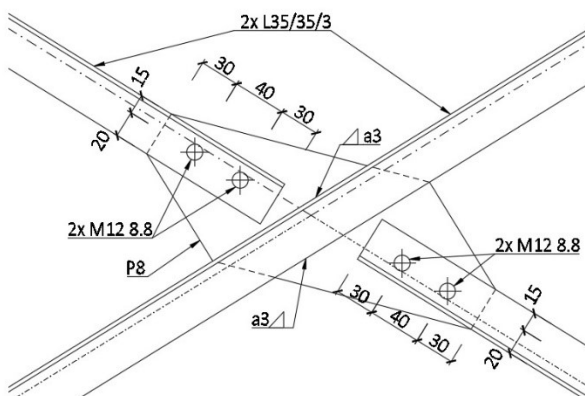
$$N_{\text{Ed}} \leq N_{\text{eff},1,\text{Rd}}$$

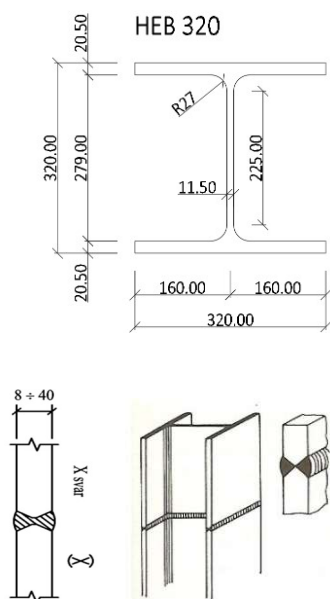
$$39,33 \text{ kN} \leq 87,03 \text{ kN}$$

=> VYHOVUJE

8.4.2.7 KŘÍŽENÍ DIAGONÁL

Šroubový přípoje je navržen na stejné zatížení jako připojení diagonál ke sloupu, proto jsou navrženy stejné šrouby a stejné rozteče. Svar diagonály styčnickového plechu je konstrukční.





8.5 MONTÁŽNÍ SPOJ SLOUPŮ

Sloupy mají stejný průřez po celé výšce budovy. Stykování sloupů bude provedeno tupým svarem. Jelikož nejsou použity příložky, konce spojovaných sloupů se upraví tak, aby mohl být po celém obvodu sloupu proveden „X“ svar. Tupé svary s plným závarem nahradí tlačný průřez a není nutno prokazovat jejich únosnost zvláštním výpočtem. Montážní spoj je navržen ve výšce 900 mm nad podlahou ve 4.NP a 7.NP.

8.6 KOTVENÍ SLOUPŮ

Patka je navržena jako kloubová z nevyztuženého patního plechu na přenos svislého a vodorovného zatížení. Kotevní šrouby jsou navrženy jako konstrukční 2x M20. Kotevní šrouby se provedou jako předem zabetonované s metrickým závitem.

8.6.1 NÁVRH KOTVENÍ SLOUPŮ

Návrh patního plechu a betonového základu

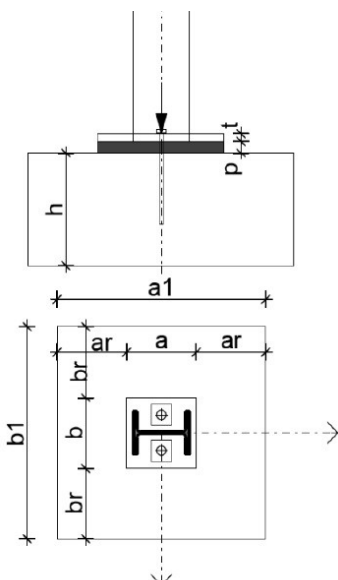
Výška betonového základu	h [mm]	800
Tloušťka betonového podlití	p [mm]	60
Tloušťka patního plechu	t [mm]	20
Šířka patního plechu	$a = b$ [mm]	460
Vzdálenost hran základu a patního plechu	$a_r = b_r$ [mm]	250

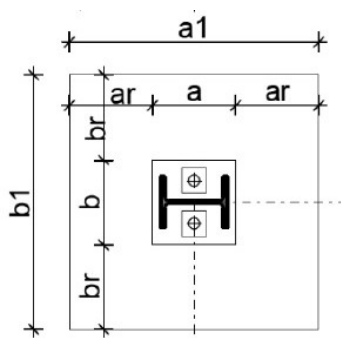
Profil sloupu HEB 320 z oceli S355

Normálová síla $N_{Ed} = 2497,49$ kN

Beton C25/30

Pevnost v tlaku – charakteristická	$f_{c,k}$ [MPa]	25
Pevnost v tlaku – návrhová	$f_{c,d}$ [MPa]	16,67





Šířka betonového základu:

$$a_1 = \min \{a + 2a_r; 5a; a + h; 5b\} = \min \{460 + 2 \cdot 250; 5 \cdot 460; 460 + 800; 5 \cdot 460\} = \min \{960; 2300; 1260; 2300\}$$

$$b_1 = \min \{b + 2b_r; 5b; b + h; 5a\} = \min \{460 + 2 \cdot 250; 5 \cdot 460; 460 + 800; 5 \cdot 460\} = \min \{960; 2300; 1260; 2300\}$$

$$a_1 = b_1 = 960 \text{ mm}$$

Součinitel koncentrace:

$$k_r = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}} = \sqrt{\frac{960 \cdot 960}{460 \cdot 460}} = 2,09$$

Návrhová pevnost betonu:

$$f_j = \frac{0,67 \cdot k_j \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{0,67 \cdot 2,09 \cdot 25}{1,5} = 23,34 \text{ MPa}$$

Účinná šířka patní desky:

$$c = t \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3f_j \cdot \gamma_{M0}}} = 20 \cdot \sqrt{\frac{355}{3 \cdot 23,34 \cdot 1,0}} = 45,03 \text{ mm}$$

$$A_{eff} = 92907 \text{ mm}^2 = 0,092907 \text{ m}^2$$

Návrhová účinnost tlačené patky:

$$N_{Rd} = A_{eff} \cdot f_j = 0,092907 \cdot 23,34 \cdot 10^3 = 2168,45 \text{ kN}$$

POSOUZENÍ

Podmínka

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{2497,49}{2650,70} = 0,94 \leq 1,0$$

=> VYHOVUJE

8.6.1.1 POSOUZENÍ KOTEVNÍCH ŠROUBŮ

Předem zabetonované šrouby s hlavou:

$$2 \varnothing 30; A_s = 561 \text{ mm}^2$$

$$S235 - f_{ub} = 235 \text{ MPa}$$

$$k_2 = 0,9$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

Působící síly:

$$\text{tahová síla působící na skupinu šroubů } N_{sd} = 98,49 \text{ kN}$$

$$\text{tahová síla působící na 1 šroub } N_1 = N_{sd}/2 = 49,25 \text{ kN}$$

Síly v šroubu:

pevnost 1 šroubu na přetržení

$$F_{v,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{Mb}} \cdot \frac{0,9 \cdot 235 \cdot 10^3 \cdot 0,000561}{1,25} = 94,921 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 94,921 \text{ kN}$$

pevnost navržené skupiny šroubů

$$N_{Rd,s} = F_{v,Rd} \cdot 2 = 94,921 \cdot 2 = 189,842 \text{ kN}$$

POSOUZENÍ ÚNOSNOSTI 1 ŠROUBU V TAHU:

$$\text{Podmínka} \quad N_1 \leq F_{v,Rd}$$

$$\frac{N_1}{F_{v,Rd}} \leq 1,0 \quad \frac{49,25}{94,921} = 0,52 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

POSOUZENÍ NA PŘETRŽENÍ ŠROUBU:

$$\text{Podmínka} \quad N_{sd} \leq N_{Rd,s}$$

$$\frac{N_{sd}}{N_{Rd,s}} \leq 1,0 \quad \frac{98,49}{189,842} = 0,52 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Předem zabetonované

šrouby s hlavou:

2ø 30

S235 – $f_y = 235$ MPa

C25/30 – $f_{ck} = 25$ MPa

$A_s = 561$ mm²

$d_h = 95$ mm

$d = 32$ mm

$\gamma_{Mp} = 1,25$

POSOUZENÍ NA VYTRŽENÍ ŠROUBU:

výpočtová únosnost kotvení při vytržení $N_{Rd,p} = \frac{N_{Rk,p}}{\gamma_{Mp}}$

$$p_k = 11f_{ck} = 11 \cdot 25 = 275 \text{ MPa}$$

$$A_h = \pi \cdot \frac{d_h^2 - d^2}{4} = \pi \cdot \frac{95^2 - 32^2}{4} = 6283,971 \text{ mm}^2$$

$$N_{Rk,p} = p_k \cdot A_h = 275 \cdot 10^3 \cdot 6283,971 \cdot 10^{-6} = 1728,092 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,p,1} = \frac{N_{Rk,p}}{\gamma_M} = \frac{1728,092}{1,25} = 1382,474 \text{ kN}$$

únosnost skupiny šroubů při vytržení

$$N_{Rd,p,2} = 2 \cdot N_{Rd,p} = 2 \cdot 1382,474 = 2764,95 \text{ kN}$$

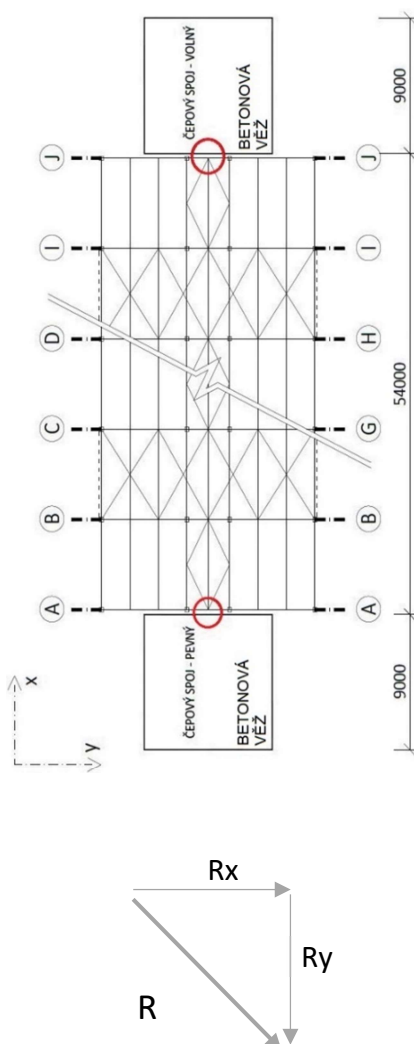
Podmínka

$$N_{td} \leq N_{Rd,p,2}$$

$$\frac{N_{td}}{N_{Rd,p,2}} \leq 1,0$$

$$\frac{98,49}{2764,95} = 0,04 \leq 1,0$$

=> VYHOVUJE



8.7 PŘIPOJENÍ KONSTRUKCE NA BETONOVÉ VĚŽE

Pro připojení jsem zvolila čepový spoj, který bude na jedné straně konstrukce připevněn k betonové věži kloubově neposuvně a k druhé věži kloubově, s umožněným posunem v podélném směru (ve směru osy x).

Čepový spoj je umístěn do každého patra.

8.7.1 ZATÍŽENÍ OD VĚTRU

Zatížení	w_e [kN/m ²]	y_G	w_e [kN/m ²]	ZŠ [m]	R [kN]
D,směr Y	0,610	1,5	0,915	27 × 3,7	91,41
E,směr Y	0,420	1,5	0,630	27 × 3,7	62,94
CELKEM $R_y =$					154,35
D,směr X	0,610	1,5	0,915	6 × 3,7	20,31
E,směr X	0,366	1,5	0,549	6 × 3,7	12,19
CELKEM $R_x =$					32,50

Výslednice sil R_v

$$R_v = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{154,35^2 + 32,50^2} = 157,74 \text{ kN}$$

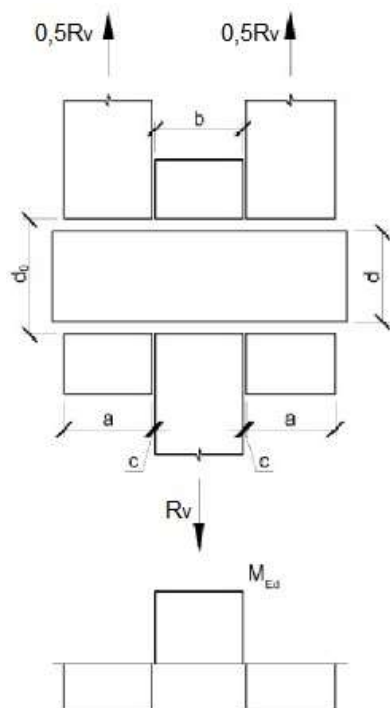
8.7.2 GEOMETRIE A MATERIÁL

PLECH S235

$$f_y = 235 \text{ MPa} \quad f_u = 360 \text{ MPa}$$

$$d_0 = 52 \text{ mm} \quad d_0 < 2,5t = 2,5 \cdot 30 = 75 \text{ mm}$$

$$t \geq 0,7 \cdot \sqrt{\frac{R_v \cdot \gamma_{M0}}{f_y}} = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{157,74 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{355}} = 14,76 \Rightarrow t = 30 \text{ mm}$$



Návrh rozměrů plechu

$$a \geq \frac{R_v \cdot \gamma_{M0}}{2t \cdot f_y} + \frac{2d_0}{3} = \frac{157,74 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{2 \cdot 30 \cdot 235} + \frac{2 \cdot 52}{3} = 45,85 \text{ mm}$$

$$a > 1,3d_0 = 1,3 \cdot 52 = 67,600 \text{ mm}$$

$$a = 70 \text{ mm}$$

$$c \geq \frac{R_v \cdot \gamma_{M0}}{2t \cdot f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{157,74 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{2 \cdot 30 \cdot 235} + \frac{52}{3} = 28,52 \text{ mm}$$

$$c > 0,75d_0 = 0,75 \cdot 52 = 39,000 \text{ mm}$$

$$c = 50 \text{ mm}$$

ČEP S355

$$f_{yp} = 355 \text{ MPa}$$

$$f_{up} = 510 \text{ MPa}$$

$$d = 50 \text{ mm}$$

$$a = b = t = 30 \text{ mm}$$

$$c = 10 \text{ mm}$$

$$A = 1963,5 \text{ mm}^2$$

$$W_{el} = 12271,8 \text{ mm}^3$$

8.7.3 POSOUZENÍ NA STŘIH

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot f_{up} \cdot A}{8\mu_2} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 510 \cdot 1963,5}{1,25} = 961,327 \text{ kN}$$

$$\text{Podmínka} \quad F_{v,Rd} > R_v$$

$$961,327 \text{ kN} > 157,74 \text{ kN}$$

=> VYHOVUJE

8.7.4 POSOUZENÍ NA OTLAČENÍ

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot f_y \cdot d \cdot t}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 235 \cdot 50 \cdot 30}{1,0} = 528,8 \text{ kN}$$

$$\text{Podmínka} \quad F_{v,Rd} > R_v$$

$$528,80 \text{ kN} > 238,37 \text{ kN}$$

=> VYHOVUJE

8.7.5 POSOUZENÍ NA OHYB

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot W_{el} \cdot f_{yp}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 12272 \cdot 355}{1,0} = 6,535 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = \frac{R_v}{8} (b + 4c + 2a) = \frac{238,37}{8} (30 + 4 \cdot 10 + 2 \cdot 30) = 3,873 \text{ kNm}$$

$$\text{Podmínka} \quad M_{Rd} > M_{Ed}$$

$$6,535 \text{ kNm} > 3,873 \text{ kNm}$$

=> VYHOVUJE

8.7.6 POSOUZENÍ NA KOMBINACI OHYBU A STŘIHU

$$\text{Podmínka} \quad \left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2 \leq 1,0$$

$$\left(\frac{3,873}{6,535}\right)^2 + \left(\frac{238,37}{961,327}\right)^2 = 0,41 \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

8.7.7 POSOUZENÍ SVAROVÉHO SPOJE

Návrh svaru:

$$a = 7 \text{ mm} \quad L = 470 \text{ mm} \quad e = 180 \text{ mm}$$

$$\beta_v = 0,8 \quad \gamma_{Mw} = 1,5 \quad \gamma_{M2} = 1,25$$

$$R_v = 238,37 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = R_v \cdot e = 238,37 \cdot 0,180 = 42,907 \text{ kNm}$$

$$\sigma_w = \frac{M_{Ed}}{\frac{a_w \cdot L^2}{6}} = \frac{42,907}{\frac{7 \cdot 470^2}{6}} = 166,489 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{166,489}{\sqrt{2}} = 117,726 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{2a \cdot L} = \frac{238,37}{2 \cdot 7 \cdot 470} = 85,6 \text{ MPa}$$

POSOUZENÍ

$$\text{Podmínka:} \quad \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{117,726^2 + 3(117,726^2 + 85,6^2)} \leq \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$278,24 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\text{Podmínka:} \quad \sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{360}{1,25}$$

$$117,726 \text{ MPa} \leq 288,00 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ČSN EN 1991-1-1 *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [2] ČSN EN 1991-1-3 *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [3] ČSN EN 1991-1-4 *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [4] ČSN EN 1993-1-1 *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [5] ČSN EN 1993-1-8 *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [6] prof. Ing. Jiří Studnička, DrSc. *Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí. Příručka k ČSN EN 1994-1-1*. Praha – ČKAIT, 2009. ISBN 978-80-87093-85-6
- [7] Ing. Ludvík Motyčka. *Kovové konstrukce. Navrhování podle ČSN EN 1993-1*. Letohrad, 2008.

-
- [8] BO008 / CO001 – Kovové konstrukce III – Podklady do cvičení
- [9] Přednáška 6. Spřažené ocelobetonové konstrukce – prof. Ing. Josef Macháček, DrSc. Dostupné z:
<http://people.fsv.cvut.cz/~machacek/prednaskyOK3/OK3-6z.pdf>
- [10] Podklady do cvičení - Ing. Milan Pilgr, Ph.D. Dostupné z:
<http://www.fce.vutbr.cz/KDK/pilgr.m/>
- [11] Průřezové charakteristiky. Dostupné z:
<http://www.statictools.eu/cs>
- [12] Katalog izolační Kingspan - Optimo – Vyspělý architektonický systém opláštění budov. Dostupné z:
<https://www.kingspan.com/cz/cs-cz/produkty/izolacni-sendvicove-panely/stenove-izolacni-panely>
-